

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:  
DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL  
DE VELOCIDAD EN CURVAS EN VEHÍCULOS CON INYECCIÓN  
ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE**

**AUTOR:  
ALEJANDRO DAVID CHAMORRO CAPELO**

**TUTOR:  
JUAN PABLO TAMAYO BENAVIDES**

**Quito, diciembre de 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Alejandro David Chamorro Capelo, con documento de identificación N° 1002421731, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD EN CURVAS EN VEHÍCULOS CON INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Alejandro David Chamorro Capelo

C. I.: 1002421731

Quito, diciembre de 2019.

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD EN CURVAS EN VEHÍCULOS CON INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE”, realizado por Alejandro David Chamorro Capelo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, diciembre de 2019.

A handwritten signature in blue ink, reading "Juan Pablo 72", with a horizontal line drawn underneath.

Juan Pablo Tamayo Benavides  
C. I.: 1714824156

**CARTA DE AUTORIZACION DE USOS DE IMÁGENES, SONIDOS,  
PATENTES, INFORMACIÓN EMPRESARIAL**

Yo, Alejandro David Chamorro Capelo, con documento de identificación N° 1002421731, autorizo el uso de imágenes, sonidos, patentes o información empresarial utilizados en este trabajo de titulación: “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD EN CURVAS EN VEHÍCULOS CON INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE”.



---

Alejandro David Chamorro Capelo

C. I.: 1002421731

Quito, diciembre de 2019.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación está dedicado a mis padres Roberto y Amanda que con su infinita paciencia y amor me han permitido llegar a cumplir este gran sueño de mi vida.

A mi hermano Álvaro que a pesar de la distancia siempre lo llevo en mi corazón.

A mi querida amiga Hilda por apoyarme en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Ingeniero Juan Pablo Tamayo, MSc. quien impartió sus conocimientos y fue mi guía a lo largo del desarrollo del presente proyecto.

A Nelson y Lorena por contribuir a la realización del proyecto práctico.

A mis pocos, pero queridos amigos quienes estuvieron pendientes en todo momento.

## ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
CARTA DE AUTORIZACION DE USOS DE IMÁGENES, SONIDOS,.....	iii
PATENTES, INFORMACION EMPRESARIAL.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO 1 .....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. Problema de Estudio.....	1
1.2. Planteamiento del Problema .....	1
1.3. Justificación.....	2
1.4. Grupo Objetivo .....	3
1.5. Objetivos .....	3
1.5.1. Objetivo General .....	3
1.5.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO 2 .....	5
MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1. Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 .....	5
2.1.1. Diseño Geométrico Vial.....	5
2.1.2 Velocidad del Vehículo en Vías.....	5
2.1.3 Velocidad de Operación o de Circulación .....	5
2.1.4 Velocidad de Diseño .....	6
2.1.5 Velocidad Específica (Ve) .....	6
2.1.6 Velocidad de Proyecto de un Tramo (V) .....	6
2.1.7 Distancia de Parada o de Frenado (D <sub>p</sub> ) .....	6

2.1.8	Alineamiento Horizontal.....	8
2.1.9	Curvas Circulares.....	8
2.1.10	Curvas de Transición.....	9
2.1.11	Curvas Compuestas.....	10
2.1.12	Peralte.....	10
2.1.13	Relación Entre Velocidad, Radio de Curvatura y Peralte.....	11
2.1.14	Transición de Peralte.....	13
2.1.15	Alineamiento Vertical.....	14
2.2.	Breve Caracterización de la Avenida Simón Bolívar.....	15
2.3.	Sistemas de Control de Velocidad en Vehículos.....	17
2.3.1.	Control de Velocidad Crucero.....	17
2.3.2	Limitador de Velocidad.....	18
2.3.3	Control de Velocidad Crucero Adaptativo.....	18
2.4.	Control de los Sistemas del Vehículo.....	18
2.4.1.	Sistema de Inyección Electrónica.....	19
2.4.2	Control de los Inyectores.....	19
2.4.3	Sistema de Aceleración Electrónico.....	20
2.4.4.	Control de la Mariposa de Aceleración.....	21
2.4.5.	Control del Pedal de Aceleración.....	21
2.5	Formato JSON (JavaScript Object Notation).....	22
CAPÍTULO 3.....		24
DESARROLLO DEL ALGORITMO.....		24
3.1.	Toma de Datos.....	24
3.2.	Cálculo de la Ruta Promedio.....	25
3.3.	Detección de las Curvas.....	27
3.4.	Obtención del Radio de la Curva.....	30
3.5.	Cálculo de la Velocidad Máxima de Ingreso a la Curva.....	31
CAPÍTULO 4.....		33
DESARROLLO DEL CIRCUITO.....		33
4.1.	Visión General.....	33
4.2.	Características Generales del Vehículo.....	33
4.1.2.	Curva de Velocidades.....	34



4.3.	Lectura de Coordenadas del GPS .....	37
4.4.	Lectura del Escáner OBD-II.....	38
4.5.	Cálculo de la Distancia de Frenado .....	39
4.6.	Control del Pedal de Aceleración .....	41
4.7.	Circuito del Pedal de Aceleración .....	43
4.8.	Interfaz Gráfica.....	47
CAPÍTULO 5 .....		49
PRUEBAS Y RESULTADOS .....		49
5.1.	Revisión de la Identificación de Curvas .....	49
5.2.	Comparación de las Características de las Curvas .....	52
5.3.	Análisis del Circuito del Pedal de Aceleración .....	55
5.3.1.	Pruebas de Velocidad Crucero .....	55
CONCLUSIONES .....		56
RECOMENDACIONES .....		58
REFERENCIAS .....		59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Distancia de parada ( $D_p$ ) en función de la inclinación de la calzada para diferentes velocidades .....	7
Figura 2.2: Elementos de una curva horizontal simple .....	8
Figura 2.3: Disposición de la curva de transición .....	9
Figura 2.4: Diagrama de fuerzas para el cálculo del peralte .....	11
Figura 2.5: Radio de curvatura en función de la velocidad de diseño para diferentes tasas de peralte .....	13
Figura 2.6: Transición del peralte de recta tangente a curva circular .....	13
Figura 2.7: Vista general Av. Simón Bolívar.....	15
Figura 2. 8: Esquema básico para el control de los inyectores .....	20
Figura 2.9: Modelado para el sistema de aceleración electrónico .....	20
Figura 2.10: Esquema del sensor del pedal de aceleración .....	21
Figura 2.11: Relación entre el voltaje de salida del sensor del pedal de aceleración en función de su ángulo de posición .....	22
Figura 2. 12: Ejemplo del formato JSON.....	23
Figura 3.1: Formato de un archivo XML que contiene información geográfica .....	24
Figura 3.2: Ruta graficada en Google Hearth .....	25
Figura 3.3: Ruta obtenida aplicando la Ec. 3.1 a los puntos recopilados.....	26
Figura 3.4: Radios en un tramo de la Avenida Simón Bolívar .....	27
Figura 3.5: Segmentos que deben ser descartados por no pertenecer a ninguna curva .....	28
Figura 3.6: Estructura de los vectores luego de haber eliminado aquellos que no describen ningún patrón .....	29
Figura 3.7: Resultado final de los vectores .....	30
Figura 3.8. Radio de curvatura .....	31
Figura 3.9: Radio en función de la velocidad de la curva para las condiciones de la Avenida Simón Bolívar.....	31
Figura 4.1: Diagrama de bloques del circuito del pedal de aceleración.....	33
Figura 4.2: Gráfico de Revoluciones del motor en función de la velocidad del vehículo .....	35
Figura 4.3: Gráfica de las líneas de tendencia de las revoluciones del motor en función de la velocidad del vehículo.....	36

Figura 4.4: Formato para el identificador GP2GA del estándar NMEA.....	37
Figura 4.5: Ventana para habilitar el servicio GP2BT2 .....	37
Figura 4.6: Escáner OBD-II basado en el circuito integrado ELM327.....	38
Figura 4.7: Diagrama de la curva precedente y la curva próxima a un punto de referencia cualquiera .....	39
Figura 4.8: Diagrama de flujo que describe el cálculo de la distancia de frenado.....	40
Figura 4.9: Diagrama indicando la distancia de frenado antes de alcanzar la curva .	41
Figura 4.10: Diagrama de flujo que describe el control del circuito del pedal .....	42
Figura 4.11: Diagrama de bloques de las señales entrantes y salientes al circuito del pedal de aceleración .....	44
Figura 4.12: Diagrama de flujo que describe el funcionamiento del circuito del pedal de aceleración.....	44
Figura 4.13: Diagrama esquemático del circuito .....	45
Figura 4.14: Ruteado de las pistas, vista superior (color rojo) y vista inferior (color azul) de la placa principal .....	46
Figura 4.15: Cables del sensor del pedal con los respectivos conectores hembra y macho .....	47
Figura 5.1: Curvas de acuerdo a los datos de la EPMMOP y las obtenidas con el algoritmo para el sector de la Avenida de los Conquistadores .....	49
Figura 5.2: Curvas de acuerdo a los datos de la EPMMOP y las obtenidas con el algoritmo para el sector de la Autopista General Rumiñahui .....	50
Figura 5.3: Curvas compuestas. ....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Coeficientes de rozamiento longitudinal para diferentes velocidades. ....	8
Tabla 2.2: Radios mínimos para prescindir de la curva de transición. ....	10
Tabla 2.3: Coeficientes de rozamiento lateral para diferentes velocidades. ....	12
Tabla 2.4: Pendientes máximas para distintas velocidades de diseño. ....	14
Tabla 2.5: Radios aproximados y peraltes aproximados para las curvas de la Av. Simón Bolívar. ....	16
Tabla 2.6: Velocidades máximas permitidas para diferentes tramos. ....	17
Tabla 4.1: Características Generales del vehículo Toyota Yaris 2009 ....	34
Tabla 4.2: Ecuaciones de RPM en función de la velocidad del vehículo para diferentes marchas. ....	35
Tabla 4.3: Descripción de la función de los cables del sensor del pedal de aceleración. ....	46
Tabla 5.1: Curvas identificadas por el algoritmo. ....	51
Tabla 5.2: Curvas totales y curvas del algoritmo. ....	52
Tabla 5.3: Comparación de los radios y peraltes del algoritmo con los datos aproximados. ....	53
Tabla 5.4: Comparación de la velocidad obtenida a través del algoritmo con los datos aproximados. ....	54
Tabla 5.5: Comparación de la velocidad programada con la velocidad máxima alcanzada por el vehículo. ....	55

## **RESUMEN**

El presente proyecto detalla el desarrollo de un prototipo electrónico capaz de controlar la velocidad de un vehículo con inyección electrónica de combustible para que éste ingrese de forma segura a las curvas de la Avenida Simón Bolívar con la finalidad de contribuir en la disminución de accidentes de tránsito en una vía cuyos índices de siniestralidad son preocupantes.

El sistema está constituido por un algoritmo que identifica las curvas de la Avenida, posteriormente reconoce cuál es la curva más cercana a la ubicación actual, luego, analiza la información sobre radio de curvatura y peralte con el objetivo de calcular la velocidad máxima de ingreso para que el vehículo no pierda la trayectoria de la carretera. Se diseñó un circuito electrónico que recibe información del algoritmo y lee la velocidad del vehículo mediante la ayuda de un escáner OBD II, éste circuito toma el control del pedal de aceleración y lo inhibe en el caso que la velocidad del vehículo supere la velocidad permitida de ingreso a la curva, y de esa manera evitar que el conductor aumente la velocidad del automotor.

Se realizaron pruebas para verificar el funcionamiento del circuito y del algoritmo. El algoritmo fue capaz de reconocer el 96.15% de las curvas en un tramo determinado, además, el circuito electrónico del pedal limitó con pequeños errores la velocidad del vehículo.

## **ABSTRACT**

This project details the development of an electronic prototype capable of controlling the speed of a vehicle with electronic fuel injection so that it safely enters the curves of Simón Bolívar Avenue to contribute to the reduction of traffic accidents in a road whose loss ratios are worrisome.

The system consists of an algorithm that identifies the curves of the Avenue, then recognizes the curve closest to the current location, then analyzes the information about the radius of curvature and the parallel in order to calculate the maximum entry speed for that the vehicle does not lose the path of the road. An electronic circuit was designed that receives information from the algorithm and reads the vehicle speed through the help of an OBD II scanner, this circuit takes control of the acceleration pedal and inhibits it in the event that the vehicle speed exceeds the permitted speed of Enter the curve, and thus prevent the driver from increasing the speed of the car.

Tests were performed to verify the operation of the circuit and the algorithm. The algorithm was able to recognize 96.15% of the curves in a determined section; in addition, the electronic circuit of the pedal limited with small errors the speed of the vehicle.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el estilo de vida de los ciudadanos se desarrolla de forma acelerada, sumado al crecimiento aligerado de la capital causa que las personas necesiten trasladarse de forma rápida para culminar sus actividades diarias. Si se considera que, debido a un mal manejo de tiempo, condiciones climáticas desfavorables para conducción y la imprudencia de los conductores es inevitable que el número de accidentes de tránsito se incremente en las vías rápidas y surja la necesidad de desarrollar sistemas que cuiden la integridad de los conductores.

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un prototipo de control electrónico que limite la velocidad de los vehículos en las curvas de la Av. Simón Bolívar, orientado hacia los modelos que cuentan con un sistema de inyección electrónica de combustible. El sistema de control se basa en el diseño de un algoritmo capaz de detectar las curvas de la ruta y, por medio de una tarjeta electrónica se deshabilita la operación del pedal del acelerador. El proyecto técnico está conformado por cinco capítulos que se describen a continuación.

En el capítulo uno se detalla el problema de estudio, planteamiento del problema, justificación, grupo objetivo, objetivo general y objetivos específicos del proyecto de titulación. En el capítulo dos se describe la investigación realizada y detalla la información recopilada de los temas fundamentales para el desarrollo del proyecto técnico.

En el capítulo tres se describe la forma en que se adquirieron los datos del GPS y el desarrollo del algoritmo para calcular la velocidad máxima de ingreso a la curva y los elementos usados. El capítulo cuatro se refiere al desarrollo del circuito del pedal de aceleración. A nivel de hardware se describe la implementación de la circuitería y a nivel de software se detalla el esquema del controlador.

Finalmente, el capítulo cinco detalla los resultados logrados luego de realizar las pruebas de funcionamiento y el análisis de los resultados para validar el prototipo.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1. Problema de Estudio**

De acuerdo con los reportes presentados desde enero hasta agosto de 2018 por parte de la Agencia Nacional de Tránsito, la segunda causa de accidentes en las vías del Ecuador es conducir vehículos superando los límites de velocidad permitidos, el cual representa el 16% del total de siniestros por causas probables a nivel nacional, es decir, 2.740 que da un total de 16.746 accidentes.

Los mecanismos de seguridad que se incorporan en los vehículos y los programas de prevención de accidentes de tránsito nunca serán suficientes cuando una persona conduce de forma imprudente irrespetando la señalética vial y las leyes de tránsito en general. Sumando a esto, la disminución de la visibilidad en las franjas periféricas debido a las condiciones climáticas, la fatiga del conductor a causa de prolongados períodos de tiempo frente al volante y su consecuente distorsión en la noción de velocidad en la carretera, incrementan el número de siniestros a 3.926 en el mismo intervalo de tiempo.

### **1.2. Planteamiento del Problema**

Los datos de la Agencia Nacional de Tránsito informan que los automóviles y camionetas son los medios de transporte que están más involucrados en los siniestros ocupando el 62% del total de vehículos accidentados (1.755 vehículos) causando la muerte de 37 individuos (23% del total de fallecidos).

Por otro lado, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 52 de la Constitución de la República del Ecuador es deber del Estado garantizar el derecho a disponer de bienes y servicios de óptima calidad, en el REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 034 (3R) establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los vehículos automotores con la finalidad de proteger la vida e integridad de las personas y al medio ambiente. En el artículo 4.3.3 del Reglamento dispone que los vehículos automotores de cuatro o más ruedas deben estar equipadas con sistema de frenos ABS y en el artículo 4.4.1 dispone que se debe contar con sistema de control de estabilidad obligatoria, siendo estos los únicos



elementos de seguridad activa que se mencionan. No se han tomado en cuenta sistemas de seguridad activa como control de estabilidad (ESP), sistema de asistencia a la frenada (BAS), frenado autónomo (AEB), control de tracción (TCS), sistemas que permiten una conducción más segura, pero a costa del incremento en el precio final del vehículo, razón por la cual es exclusividad en automotores de gama alta comercializados en nuestro país.

### **1.3. Justificación**

El exceso de velocidad en las curvas provoca el aumento en la fuerza centrífuga del automotor que conlleva un inminente desvío en la trayectoria del mismo, lo cual genera que éste pueda chocar con el parterre de la carretera o invadir el carril contrario y su inevitable colisión con otro automóvil, haciendo que la desgracia sea mayor. En el caso del despiste puede causar volcamiento, giros de campana o lo que es peor caída hacia quebradas o barrancos.

La Agencia Nacional de Tránsito nos informa que desde enero hasta agosto de 2018 se tiene un saldo fatal de 226 fallecidos y 210 heridos (16% y 15% del total de los siniestros respectivamente) debido a las causas relacionadas con el exceso de velocidad. Esto ha llevado a que las autoridades de tránsito tomen diferentes medidas con el fin de reducir el número de fatalidades; entre las que se puede mencionar está el uso obligatorio del cinturón de seguridad, el control de velocidad mediante el uso de radares en ciertos sitios de las vías con índices de velocidad elevados, operativos de control por parte de los agentes de tránsito. Lastimosamente los radares de velocidad no son eficaces en curvas, ya que el ángulo del vehículo varía constantemente con respecto de la antena y, por tanto, es incapaz de calcular la velocidad correctamente. Cabe recalcar que estos equipos son fácilmente detectables e inhibibles por muchos equipos disponibles en el mercado.

Por otra parte, el uso de sistemas de seguridad activa, como son el sistema de frenos ABS o el sistema de tracción electrónica, no limita o reduce la velocidad del vehículo cuando éste circula a exceso de velocidad en zonas peligrosas. Prueba de ello es que las causas de siniestros por exceso de velocidad no han mermado su incidencia de acuerdo con el análisis comparativo de siniestralidad mensual presentado por la

ANT, es así que al comparar los siniestros de agosto 2017 con los de agosto 2018 hay un incremento de 24 accidentes de tránsito.

Con estos antecedentes se pretende dotar al automotor de la capacidad de reducir la velocidad en las curvas de vías periféricas en las cuales el índice de siniestralidad es preocupante. Con su implementación se esperaría que la incidencia de fatalidades se vea reducida.

#### **1.4. Grupo Objetivo**

El presente proyecto está orientado, principalmente, a los usuarios de transporte liviano que circulan por las vías perimetrales de la Ciudad de Quito, en especial la Av. Simón Bolívar por ser una vía con mayor incidencia de accidentes de tránsito.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

Desarrollar un prototipo electrónico para el control de la velocidad en vehículos con inyección electrónica al ingreso a curvas.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Investigar sobre los sistemas de inyección electrónica de combustible actuales para el establecimiento del tipo de controlador a implementar.
- Adquirir datos de funcionamiento en tiempo real de los sensores y actuadores del vehículo con sistema de inyección electrónica de combustible para la obtención de sus curvas de operación utilizando un escáner automotriz OBD II para el diseño del controlador.
- Estructurar un algoritmo para el cálculo de la velocidad máxima de ingreso a la curva usando los estándares de geometría vial en la Av. Simón Bolívar.
- Diseñar el controlador electrónico para el manejo de los actuadores encargados de regular la velocidad del vehículo.
- Implementar el controlador electrónico para la limitación de la velocidad del vehículo.

- Validar el funcionamiento del controlador mediante un banco de pruebas para la comprobación de su efectividad.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1. Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12**

Es un documento normativo técnico, elaborado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador en el año 2013, en el cual se constituyen criterios, políticas, metodologías y procedimientos que se tienen que cumplir en las etapas de planificación, diseño y construcción de un proyecto vial con la finalidad de garantizar la calidad y durabilidad de las vías para salvaguardar la integridad de los transportistas y peatones que hacen uso de ellas.

##### **2.1.1. Diseño Geométrico Vial**

Determina la configuración tridimensional, la forma geométrica y la ubicación de los componentes de la autopista en el terreno. Su principal objetivo es producir carreteras funcionales, seguras, cómodas, estéticas, económicas y además que sean compatibles con el ambiente. (Bergamasco, 2015, pág. 34)

##### **2.1.2 Velocidad del Vehículo en Vías**

La velocidad de los vehículos en una carretera depende, de las capacidades de los conductores y sus vehículos, de las características físicas de la carretera, la cantidad de interferencia en la misma, el clima. El diseño de la carretera debe tener en cuenta los efectos adversos causados por las altas velocidades y tratar de disminuir sus consecuencias, por estas razones, como primer paso en el diseño vial se debe seleccionar la velocidad en el tramo de carretera.

##### **2.1.3 Velocidad de Operación o de Circulación**

Se obtiene dividiendo la longitud de una sección de la carretera entre el tiempo que le tomó recorrer esta sección. El promedio de la velocidad de operación de todos los vehículos es la medida de velocidad más adecuada para evaluar el nivel de servicio que presta la vía. (AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018).

#### 2.1.4 Velocidad de Diseño

Es una velocidad seleccionada que es empleada para establecer las características de diseño geométrico de la autopista. Algunas de estas características las cuales dependen directamente de ésta velocidad son: la curvatura, el peralte, distancia de visión y número de carriles. La velocidad de diseño no puede tomar valores aleatorios, se estableció que los valores que se debe usar son: 20 Km/h, 30 Km/h, 40 Km/h, 50 Km/h, 60 Km/h, 70 Km/h, 80 Km/h, 90 Km/h, 100 Km/h, 110 Km/h o 120 Km/h.

#### 2.1.5 Velocidad Específica (Ve)

Es la velocidad máxima que puede mantener un vehículo en un tramo de autopista, considerando que las llantas se encuentren en buen estado, el pavimento húmedo y las condiciones externas no impongan limitaciones de velocidad, tomado en cuenta las normas de seguridad y comodidad de los pasajeros.

#### 2.1.6 Velocidad de Proyecto de un Tramo (V)

En condiciones de seguridad y comodidad, la velocidad que permite detallar las características de diseño geométrico mínimas de los elementos de trazado. También se define como la velocidad específica mínima de un tramo de la vía.

#### 2.1.7 Distancia de Parada o de Frenado (D<sub>p</sub>)

Es la distancia que un automotor recorre antes de verse obligado a parar totalmente debido a la presencia de un obstáculo inesperado en su trayectoria. Se suman las distancias referentes al tiempo de percepción y reacción del conductor más el tiempo de accionamiento de los frenos. Con la Ecuación 2.1 se puede calcular la distancia de parada. (Dirección General de Carreteras., 2016).

$$D_p = \frac{V_{tp}}{3.6} + \frac{V^2}{254 \left[ \frac{a}{9.81} \pm G \right]} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Siendo D<sub>p</sub> la distancia de parada en metros, V es la velocidad en el instante de iniciar la maniobra de frenado en Km/h, G es la pendiente longitudinal en porcentaje, (+) para pendiente de ascenso y (-) para pendiente de descenso, a es la deceleración en m/s<sup>2</sup> (es función de la pendiente y del coeficiente de fricción longitudinal en el

tramo) y  $t_p$  es el tiempo de reacción en segundos. La AASHTO recomienda  $t_p = 2.5$  segundos y se tiene la Ecuación 2.2. (AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018)

$$D_p = \frac{V}{1.44} + \frac{V^2}{254 \left[ \frac{a}{9.81} \pm G \right]} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

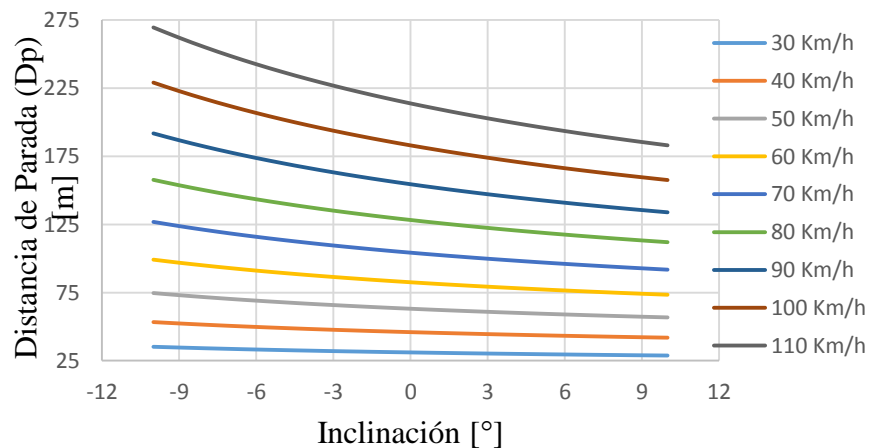
En el caso que se desee calcular la distancia recorrida hasta una velocidad final  $V_f$  distinta de cero se usa la Ecuación 2.3.

$$D_p = \frac{V}{1.44} + \frac{V^2 - V_f^2}{254 \left[ \frac{a}{9.81} \pm G \right]} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Estudios muestran que la mayoría de los conductores desaceleran a una tasa mayor que  $a = 4.5 \text{ m/s}^2$  cuando confrontan la necesidad de detenerse frente a un obstáculo en la vía. En el análisis de desempeño de los frenos en vehículos que incorporan el sistema antibloqueo se comprobó que la tasa de desaceleración promedio, para las condiciones del Ecuador, es de  $a = 6.1233 \text{ m/s}^2$ . (Tamayo Benavides, 2015).

Los coeficientes de rozamiento longitudinal para diferentes velocidades se visualizan en la Tabla 2.1. En la Figura 2.1 se aprecia la gráfica de distancia de parada en función de la inclinación de la calzada para diferentes velocidades.

Figura 2.1: Distancia de parada ( $D_p$ ) en función de la inclinación de la calzada para diferentes velocidades



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Tabla 2.1: Coeficientes de rozamiento longitudinal para diferentes velocidades

$V(\text{Km/h})$	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$f_l$	0.432	0.411	0.390	0.369	0.348	0.334	0.320	0.306	0.291

Elaborado por: Alejandro Chamorro

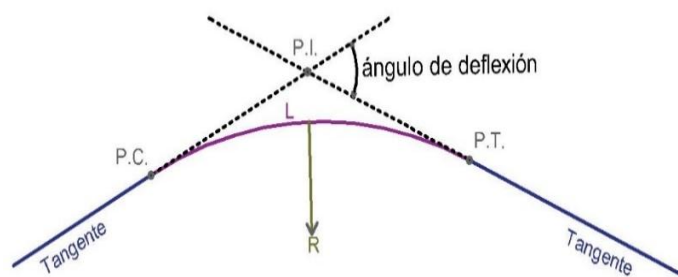
### 2.1.8 Alineamiento Horizontal

También conocido como trazado en planta, se referirá a un eje que fija un punto en cada sección transversal. Consiste en secciones rectas de la calzada (tangentes) conectadas por curvas horizontales, que son curvas circulares con o sin curvas de transición (espirales). Las características de diseño incluyen el radio de curvatura mínimo, curvas de transición, peralte y distancia de visibilidad. (Dirección General de Carreteras., 2016).

### 2.1.9 Curvas Circulares

Dos rectas tangentes consecutivas se unen de la forma más simple mediante arcos de circunferencia de radio es constante. En la Figura 2.2 se observan los elementos de una curva horizontal. (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2018).

Figura 2.2: Elementos de una curva horizontal simple



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Donde P.C. es el punto inicial de la curva, P.I. es el punto de intersección de las dos tangentes, P.T. es el punto de tangencia,  $\varphi$  es el ángulo de deflexión, R es el radio de curvatura y L es la longitud del arco de circunferencia de la curva (segmento entre P.C. y P.T.). L y R se relacionan a través de  $\varphi$  mediante la ecuación Ec. 2.4.

$$L = 2\pi R \frac{\varphi}{360} \quad \text{Ec. (2. 4)}$$

### 2.1.10 Curvas de Transición

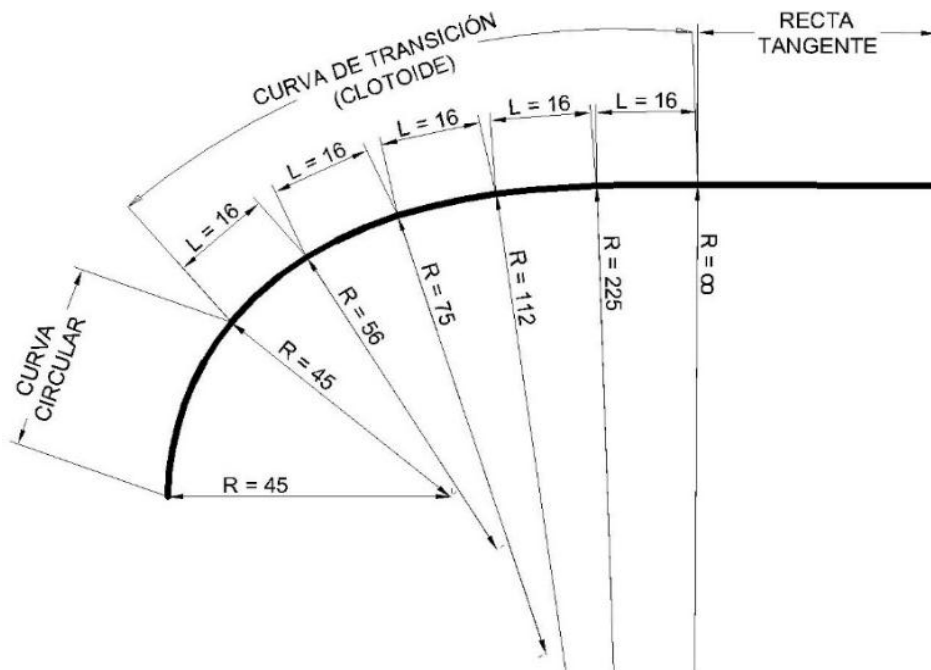
Para que el conductor transite de forma gradual, evitando giros bruscos del volante y cambios repentinos en la fuerza centrífuga, desde un tramo tangente de carretera hacia una curva con peralte se necesita intercalar una curva de transición. Se suele usar la espiral de Euler o clotoide para éste propósito, la cual se caracteriza por el progresivo decremento en su radio de curvatura desde la tangente hasta la unión con la curva circular. La ecuación paramétrica que define a esta espiral está dada por la ecuación Ec. 2.5:

$$A^2 = R \times L \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Donde A es el parámetro característico de la clotoide dado en metros, R es el radio de curvatura en un punto determinado en metros y L es la longitud de la curva entre el punto de radio R y su punto de inflexión ( $R = \infty$ ). (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2018).

En la Figura 2.3 se aprecian la disposición de la curva de transición.

Figura 2.3: Disposición de la curva de transición



Elaborado por: Alejandro Chamorro



El parámetro A tiene relación con la velocidad de diseño, radio de curvatura, peralte y la variación de la aceleración ( $J[m/s^3]$ ), tomando como valor máximo 0.7 para velocidades de diseño  $V < 80 \text{ Km/h}$  y 0.8 para  $80 \text{ Km/h} < V < 100 \text{ Km/h}$ .

Se puede prescindir de las curvas de transición cuando los radios son superiores a los mostrados en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Radios mínimos para prescindir de la curva de transición

<b><math>V[Km/h]</math></b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110
<b><math>R_{min}[m]</math></b>	90	160	250	400	500	700	800	1000	1200

Elaborado por: Alejandro Chamorro

Con la Ecuación Ec 2.6 se puede calcular la longitud mínima de la curva de transición para valores de peralte ( $e[\%]$ ).

$$L_{min} = \frac{V}{46.656J} \left[ \frac{V^2}{R} - 1.27e \right] \quad \text{Ec. (2.6)}$$

### 2.1.11 Curvas Compuestas

Es la disposición de curvas circulares simples de diferentes radios orientadas en la misma dirección una a continuación de otra. En lo posible se tendrá que evitar el uso de este tipo de curvas y emplear una curva circular con transición. (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2018)

### 2.1.12 Peralte

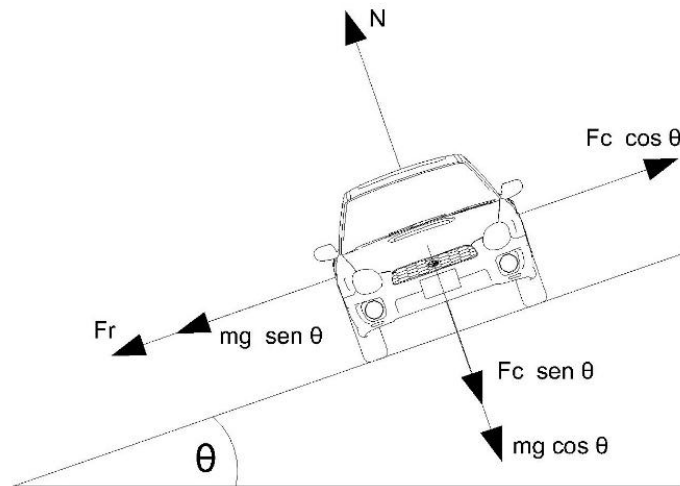
Peralte o sobreelevación es el ángulo de inclinación lateral de la calzada en curvas horizontales que ayuda a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo cuando circula a velocidades elevadas. Matemáticamente, el peralte se define mediante la ecuación Ec. (2.5) y se lo expresa en porcentaje. (Berardo, Baruzzi, & Dapás, 2014).

$$e = \tan \theta \quad \text{Ec. (2. 7)}$$

### 2.1.13 Relación Entre Velocidad, Radio de Curvatura y Peralte

Considerando el diagrama de fuerzas de la Figura 2.4, si el vehículo viaja a través de la curva con radio R a velocidad constante v, se generará una Fuerza centrífuga  $F_c$  hacia el extremo de la curva.

Figura 2.4: Diagrama de fuerzas para el cálculo del peralte



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Sumando las fuerzas a través del eje normas se tiene:

$$N = F_c \times \text{sen } \theta + mg \times \cos \theta \quad \text{Ec. (2. 6)}$$

Sumando las fuerzas a través del eje radial se tiene:

$$mg \times \text{sen } \theta + \mu N = F_c \times \cos \theta \quad \text{Ec. (2. 7)}$$

Además, sabemos que la fuerza centrífuga es igual a:

$$F_c = m \frac{v^2}{R} \quad \text{Ec. (2. 8)}$$

Reemplazando las ecuaciones Ec. (2.6) y Ec. (2.8) en Ec. (2.7):

$$mg \times \text{sen } \theta + \mu \left( m \frac{v^2}{R} \times \text{sen } \theta + mg \times \cos \theta \right) = m \frac{v^2}{R} \times \cos \theta \quad \text{Ec. (2.9)}$$

Dividiendo para  $m \times \text{sen } \theta$  y agrupando los términos:

$$\frac{v^2}{gR}(1 - \mu \tan \theta) = \tan \theta + \mu \quad \text{Ec. (2. 10)}$$

Considerando la ecuación Ec. (2.5) y que  $\mu \tan \theta \ll 1$ , al despejar R se obtiene:

$$R = \frac{v^2}{g(\mu + e)} \quad \text{Ec. (2. 81)}$$

Si las unidades de R son metros, y v está en Km/h, se tiene la expresión que relaciona el radio de la curva, el peralte y la velocidad.

$$R = \frac{v^2}{127(\mu + e)} \quad \text{Ec. (2. 12)}$$

El término  $\mu$  corresponde al coeficiente de rozamiento o factor de fricción lateral máximo entre las ruedas y el asfalto. En la Tabla 2.3 se observan estos valores según la AASHTO.

Tabla 2.3: Coeficientes de rozamiento lateral para diferentes velocidades

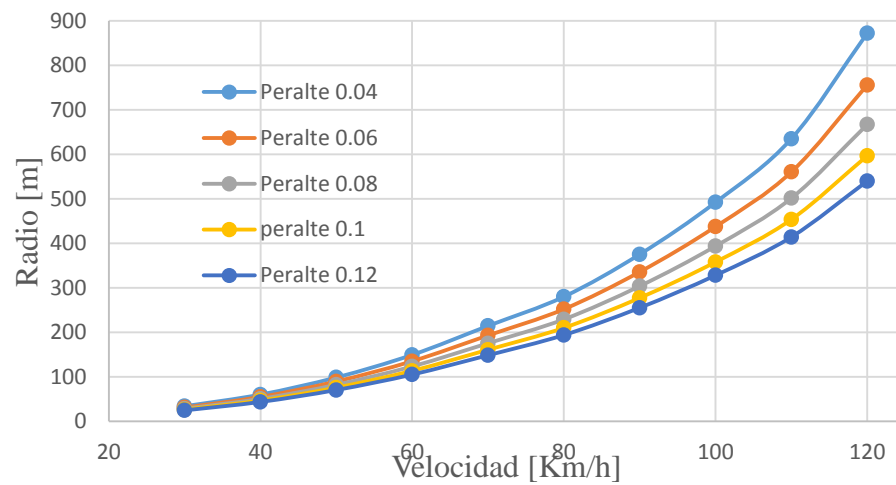
<i>Velocidad de Diseño [Km/h]</i>	30	40	50	60	70	80	90	100	110
<i>Coeficiente de Fricción Lateral Máximo</i>	0.17	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11

Elaborado por: Alejandro Chamorro

Las tasas de peralte que excede el 12% están más allá de los límites prácticos. (California Department of Transportation. CALTRANS, 2018).

En la Figura 2.5 se observa la gráfica de los radios de curvatura en función de la velocidad de diseño para distintos valores de peralte.

Figura 2.5: Radio de curvatura en función de la velocidad de diseño para diferentes tasas de peralte

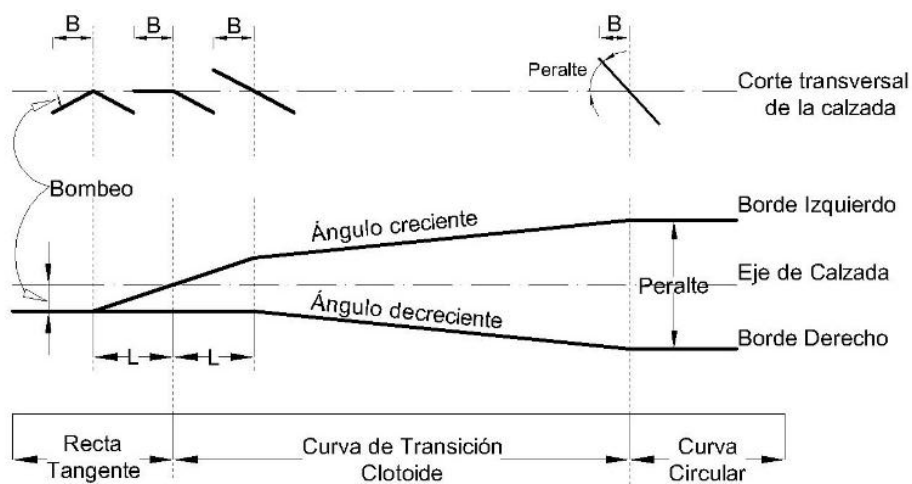


Elaborado por: Alejandro Chamorro

#### 2.1.14 Transición de Peralte

El peralte varía gradualmente en la curva de transición desde 0% en la recta tangente hasta el peralte final en la curva circular. En la Figura 2.6 se observa la transición del peralte. (Sierra, 2016).

Figura 2.6: Transición del peralte de recta tangente a curva circular



Elaborado por: Alejandro Chamorro

La recta tangente siempre tiene una inclinación del -2% entre el centro de la vía y la rasante llamada “bombeo”, cuya finalidad es drenar el agua lluvia hacia el extremo

de la carretera. En la transición del peralte primero se realiza el desvanecimiento del bombeo antes de ingresar a la cotloide ( $L \leq 20$  m). El borde izquierdo (B) pasa del bombeo hasta 0% de inclinación. Posteriormente el peralte pasa del 0% al 2% en el borde izquierdo. Finalmente, el ángulo del borde izquierdo crece y el ángulo del borde derecho decrece gradualmente hasta llegar al valor de peralte de la curva circular. Para el caso en que no exista curva de transición, parte de la transición del peralte se la realiza en la recta tangente y parte sobre la curva circular. El procedimiento anterior se lo realiza de forma inversa para la transición de salida de la curva. (Dirección General de Carreteras., 2016).

### 2.1.15 Alineamiento Vertical

En general, se recomienda no sobrepasar los límites máximos de pendiente indicados en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Pendientes máximas para distintas velocidades de diseño

Orografía	Terreno Plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno Escarpado
Velocidad [Km/h]				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8
70	7	7	7	7
80	7	7	7	7
90	6	6	6	6
100	6	5	5	5
110	5	5	5	5

Elaborado por: Alejandro Chamorro

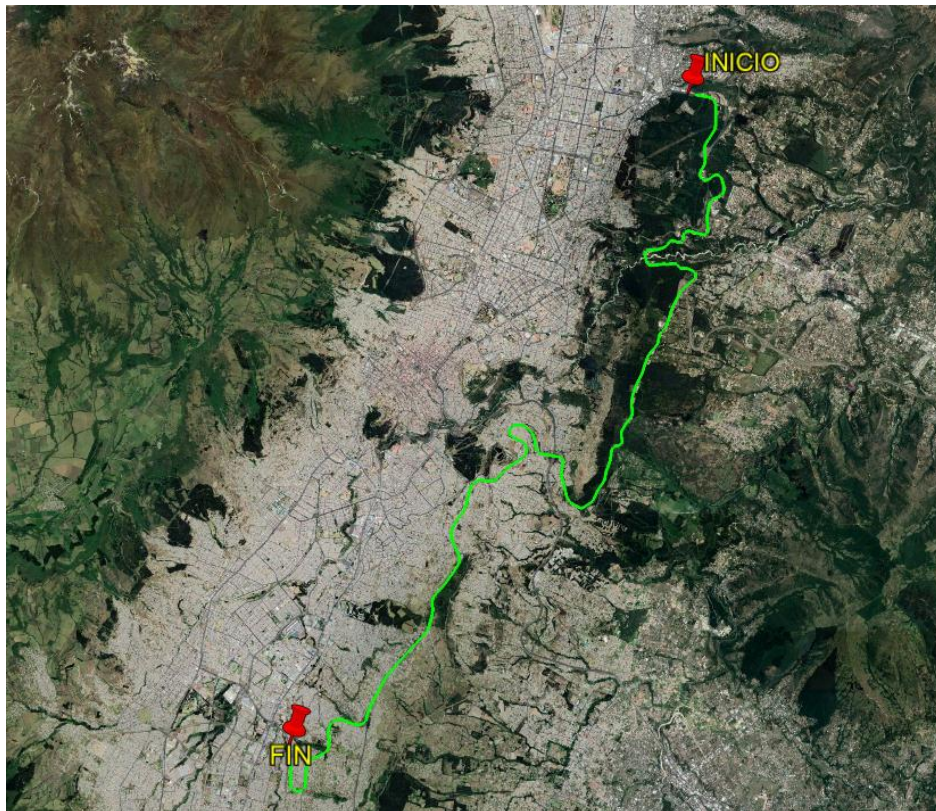
En tramos mayores a 2.000 metros la pendiente máxima deberá ser del 6%. Para pendientes mayores al 10% el tramo máximo será de 180 metros. En curvas con radios menores a 50 metros la pendiente máxima será del 8%. Para pendientes mayores al 5%, en tramos cercanos a los 3000 metros, deberá existir un tramo de descanso mayor a 500 metros con pendiente máxima de 2%. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

## 2.2. Breve Caracterización de la Avenida Simón Bolívar

La Avenida Simón Bolívar se localiza en la parte oriental del Distrito Metropolitano de Quito y lo atraviesa longitudinalmente de Norte a Sur, iniciando su trayecto en la Avenida De Los Granados, en el sector del Redondel del Ciclista, y termina en la intersección con la Avenida Pedro Vicente Maldonado en el sector del Puente de Guajaló, abarcando una longitud de 29 Km. Adicionalmente, desde la Panamericana Norte hasta el límite Sur de la quebrada Saguanchi, existe alrededor de 88 curvas. (Sánchez, 2017).

Este tramo de la vía es el más antiguo, por tal motivo no existe información sobre datos de velocidad de diseño, sin embargo, la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas facilita información de las velocidades máximas permitidas, las cuales se tomarán como referencia para el desarrollo del presente proyecto. En la Tabla 2.5 se muestran los radios aproximados y peraltes aproximados para las curvas de la Av. Simón Bolívar. En la Figura 2.7 se observa su ubicación.

Figura 2.7: Vista general Av. Simón Bolívar



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Tabla 2.5: Radios aproximados y peraltes aproximados para las curvas de la Av.  
Simón Bolívar

<b>Sector</b>	<b>Nº Curva</b>	<b>Radio Aproximado [m]</b>	<b>Peralte Aproximado [%]</b>	<b>Velocidad Aproximada [Km/h]</b>	<b>Abscisa Inicio – Fin</b>
Panamericana Norte	1	2500	2		0+710 – 0+824
	2	350	10		1+165 - 1+550
Avenida De Los Conquistadores	21	86	9	50	11+470 - 11+640
	22	700	4	100	11+706 - 11+820
	23	90	10	50	11+860 - 11+905
	24	112	9	60	12+165 - 12+380
	25	108	10	60	12+425 - 12+574
	26	160	6	70	12+601 - 12+707
	27	240	6	80	12+836 - 12+903
	28	95	8	50	13+064 - 13+226
	29	100	6	50	13+400 - 13+555
	30	300	3	90	13+746 - 13+814
	31	245	4	80	13+924 - 13+997
	32	90	7	50	14+053 - 14+161
	33	65	7	50	14+236 - 14+305
	34	150	10	70	14+372 - 14+451
	35	105	9	60	14+559 - 14+764
Autopista General Rumiñahui	53	300	3	90	19+585 - 19+670
	54	220	8	80	19+743 - 19+858
	55	400	9	100	19+981 - 20+079
	56	165	6	70	20+268 - 20+368
	57	102	6	70	20+562 - 20+674
	58	270	6	90	20+842 - 21+059
	59	500	3	100	21+431 - 21+632
	60	100	6	50	21+824 - 21+976
Juan Bautista Aguirre	61	155	8	70	22+382 - 22+563
	68	265	9	90	24+890 - 25+150
	69	265	6	90	25+300 - 25+684

Elaborado por: Alejandro Chamorro

En la Tabla 2.6 se listan las velocidades máximas permitidas para diferentes tramos de la Avenida Simón Bolívar.

Tabla 2.6: Velocidades máximas permitidas para diferentes tramos

Sector cercano entre:	Abscisa desde	Abscisa hasta	Velocidad Máxima Livianos [Km/h]	Velocidad Máxima Pesados [Km/h]
Panamericana Norte – Redondel Gualo	0+000	3+700	90	70
Redondel Gualo – Av. De las Palmeras (Redondel de Zambiza)	3+700	5+100	70	60
Av. De las Palmeras – Entrada a Nayón	5+100	6+700	50	40
Nayón	6+700	7+400	70	60
Nayón – Av. Luis Román Pérez (Hacia Av. De los Granados)	7+400	8+700	50	40
Av. Interoceánica	8+700	11+500	70	60
Av. Interoceánica – Ingreso Ruta Viva	11+500	15+500	50	40
Ingreso Ruta Viva – Ingreso Autopista General Rumiñahui	15+500	21+600	90	70
Ingreso Autopista General Rumiñahui – Ingreso Forestal	21+600	26+900	70	60
Ingreso Forestal – Ingreso Argelia	26+900	29+200	90	70
Ingreso Argelia – Inicio Quebrada Saguanchi	29+200	39+400	90	70
Límite Sur del D. M. Q.	39+400	40+500	70	60

Elaborado por: Alejandro Chamorro

### 2.3. Sistemas de Control de Velocidad en Vehículos

Este tipo de sistemas permiten reducir el número de tareas a controlar en la conducción con la finalidad de evitar el cansancio del piloto y por lo tanto aumentará su atención en otro tipo de tareas como el control de la dirección.

#### 2.3.1. Control de Velocidad Crucero

Su objetivo es mantener una velocidad constante, fijada previamente por el conductor, de forma automática sin la necesidad de presionar el pedal del acelerador. Si el conductor presiona el embrague o el freno, el sistema se cancela. Cuando el piloto presiona el pedal del acelerador para incrementar la velocidad, el sistema se mantiene en espera hasta que se levante el pedal.



El sistema lee la información procedente del sensor de velocidad del vehículo (VSS) para actuar directamente sobre la válvula de mariposa en el cuerpo de aceleración y aumentar o disminuir la velocidad según sea necesario con la finalidad de conservar la velocidad programada por el conductor. (Webedia Brand Services, 2015).

### **2.3.2 Limitador de Velocidad**

Esta función está disponible en casi todos los vehículos que disponen del control de velocidad crucero. Su objetivo es evitar que el automóvil sobrepase una velocidad preestablecida cuando el conductor acelera demasiado. El sistema actúa sobre el pedal de aceleración, anulando su operación cuando el vehículo llega a la velocidad preestablecida. El sistema se desactiva al presionar hasta el fondo el pedal de aceleración. (Webedia Brand Services, 2015).

### **2.3.3 Control de Velocidad Crucero Adaptativo**

Permite que el control de velocidad crucero del vehículo adapte su velocidad al entorno del tráfico. Usando un radar en la parte frontal se sabe a qué velocidad se aleja o se aproxima el vehículo delantero, de esta forma el sistema reducirá la velocidad para mantenerse a una distancia de seguridad prudente o detendrá el vehículo para evitar una colisión.

Si la distancia de seguridad aumenta o no hay un vehículo por delante, el sistema retoma la velocidad de crucero. El sistema actúa sobre la válvula de mariposa en el cuerpo de aceleración para poder mantener la velocidad crucero y sobre el sistema de frenos para disminuir la velocidad o detenerse totalmente en el caso que sea necesario. El sistema de control adaptativo está disponible en vehículos con transmisión automática.

## **2.4. Control de los Sistemas del Vehículo**

La reducción de la velocidad del vehículo se puede lograr controlando la cantidad de combustible que ingresa al motor, a través del sistema de inyección o la posición de la válvula de mariposa, cambiando el mecanismo del sistema de frenos o manipulando el sensor del pedal de aceleración. A continuación, se describe los

distintos sistemas del vehículo en los que es posible controlar la velocidad del mismo.

#### **2.4.1. Sistema de Inyección Electrónica**

Su función es hacer llegar a cada cilindro el combustible necesario, de acuerdo con las condiciones de marcha del motor. El volumen de aire aspirado es utilizado como parámetro principal, junto con la información del régimen de giro del motor y las señales de los sensores, se puede calcular el caudal de combustible que debe suministrarse, con el fin de dosificar convenientemente el combustible inyectado. Estas señales ingresan a la Unidad Electrónica de Control (ECU), luego de procesarlas se calcula el tiempo de apertura de los inyectores. La señal de salida para los inyectores consiste en impulsos de mando que modifican sus tiempos de apertura en función de la cantidad de combustible que es necesario inyectar. Es posible corregir la riqueza de la mezcla en función de otros parámetros, como temperatura del motor, riqueza de mezcla, etc. (Alonso Pérez).

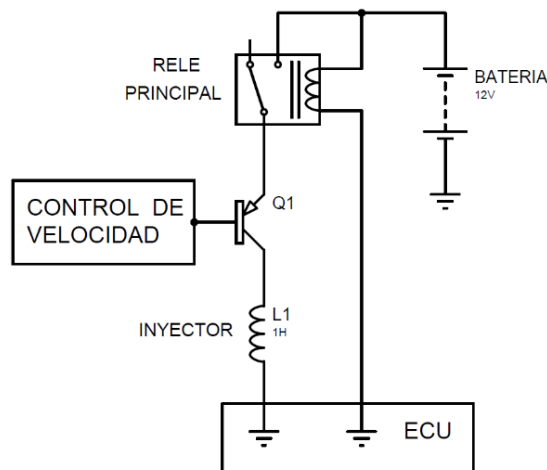
#### **2.4.2 Control de los Inyectores**

El sistema de control debe ser capaz de manejar un inyector de solenoide de alta velocidad a una frecuencia de conmutación rápida y con baja potencia. El principal problema en el rendimiento de los inyectores es el tiempo de respuesta del mismo. (Kumar, 2016).

Una forma de control es manipular la alimentación de los inyectores y realizar un corte de combustible sin modificar la señal de secuencia del inyector generada por la ECU. En la Figura 2.8 se observa el diagrama para este tipo de control.

Se debe seleccionar la frecuencia de corte de tal manera que se logre detener el régimen del motor, evitando la presencia de empujes irregulares que generen efectos dañinos en los componentes del automóvil. (Gómez, 2013).

Figura 2. 8: Esquema básico para el control de los inyectores

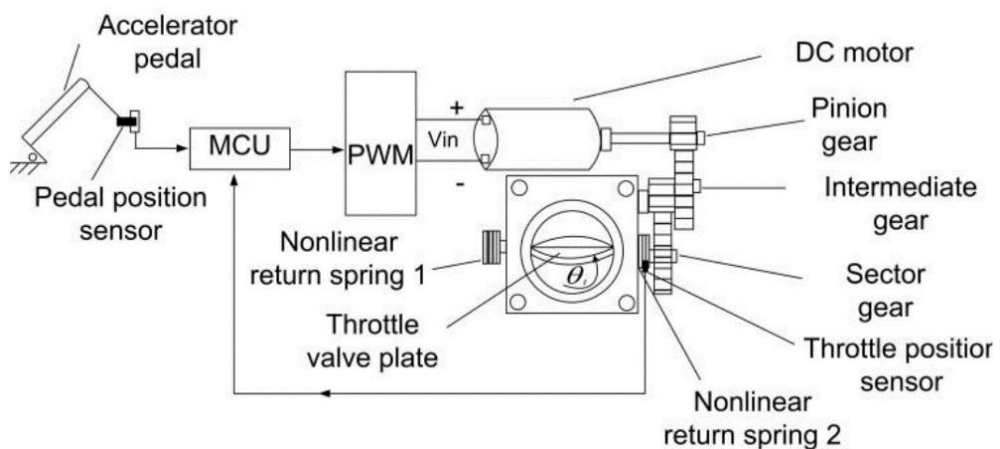


Elaborado por: Alejandro Chamorro

### 2.4.3 Sistema de Aceleración Electrónico

Cuando el conductor presiona el pedal del acelerador, el sensor del ángulo del pedal de aceleración envía esta información a la ECU y genera un voltaje de control a través del módulo PWM, proveyendo al motor DC con la potencia suficiente para generar el torque de rotación y hacer que el aire ingrese. Al mismo tiempo el sensor de posición de la mariposa mide el ángulo de apertura con el fin que la ECU determine la mezcla aire-combustible adecuada. En la Figura 2.9 se observa el modelado del sistema de aceleración electrónico.

Figura 2.9: Modelado para el sistema de aceleración electrónico



Fuente: (Man, 2016)

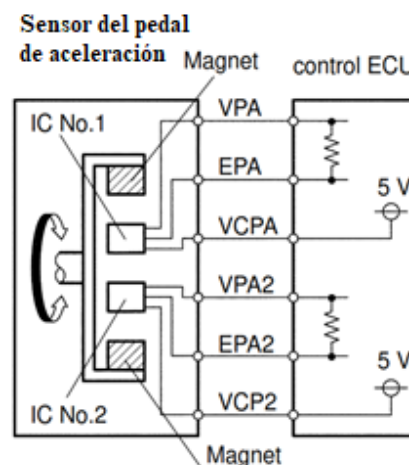
#### 2.4.4. Control de la Mariposa de Aceleración.

El sistema de control se ve influenciado de perturbaciones externas, como las fuerzas del flujo de aire, y no linealidades presentes en el juego de engranajes, el resorte de retorno de la placa de la mariposa y la fricción de la misma. Todos estos parámetros no solo dificultan mucho el diseño del controlador, sino que también afectan el rendimiento de salida del sistema de aceleración. Por lo tanto, para garantizar que el ángulo de la placa de la mariposa pueda seguir el ángulo deseado, se debe realizar con precisión el modelado del sistema. El modelado depende principalmente del tipo de control a usarse, los más usados son control difuso, redes neuronales y control adaptativo. (Man, 2016).

#### 2.4.5. Control del Pedal de Aceleración

El sensor de posición del pedal de aceleración (APP) consta simplemente de dos potenciómetros que están montados sobre el pedal para determinar qué tanto éste es presionado. Las salidas son VPA y VPA2 y se conectan directamente a la ECU. La señal VPA indica el ángulo de posición real del pedal y la señal VPA2 sirve como redundancia a la señal VPA y también ayuda a detectar malfuncionamientos en el sensor. VCP y EPA corresponden la alimentación y referencia del potenciómetro número uno y VCP2 y EPA2 son la alimentación y referencia del potenciómetro número dos. En la Figura 2.10 se observa el diagrama básico del sensor del pedal de aceleración.

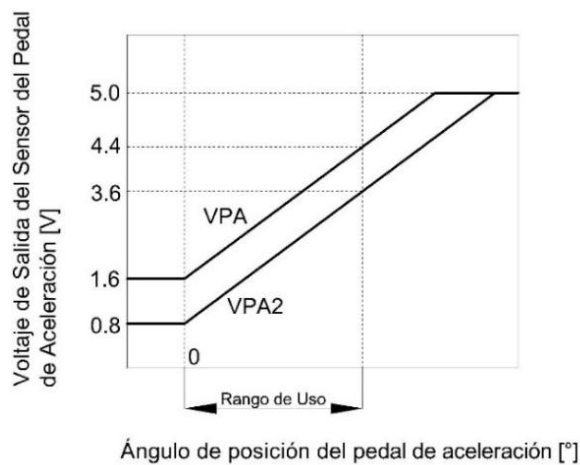
Figura 2.10: Esquema del sensor del pedal de aceleración



Elaborado por: Alejandro Chamorro

En los sistemas limitadores de velocidad, la ECU se encarga de inhibir la señal del APP, mediante un circuito adicional similar al control de los inyectores, con el fin de cerrar o cambiar el ángulo de apertura del plato de la válvula de mariposa del cuerpo de aceleración y por lo tanto la velocidad del vehículo disminuirá. En la Figura 2.11 se muestra la relación lineal del voltaje de salida del sensor del pedal de aceleración en función de su ángulo de posición.

Figura 2.11: Relación entre el voltaje de salida del sensor del pedal de aceleración en función de su ángulo de posición



Elaborado por: Alejandro Chamorro

## 2.5 Formato JSON (JavaScript Object Notation)

Se utiliza para el intercambio de datos entre un servidor y un navegador web. Escribirlo y leerlo es fácil para los programadores y las máquinas lo generan e interpretan de forma simple. En la Figura 2.12 se observa un ejemplo de este tipo de formato. (Crockford, s.f.).

Figura 2. 12: Ejemplo del formato JSON

```
{
  "type": "FeatureCollection",
  "features": [
    {
      "type": "Feature",
      "properties": {},
      "geometry": {
        "type": "Point",
        "coordinates": [-78.4549355506897, -0.18151014485195632]
      }
    },
    {
      "type": "Feature",
      "properties": {},
      "geometry": {
        "type": "LineString",
        "coordinates": [
          [-78.45429718494415, -0.1815476955896996],
          [-78.45409870147705, -0.18145113654962292]
        ]
      }
    }
  ]
}
```

Elaborado por: Alejandro Chamorro

## CAPÍTULO 3

### DESARROLLO DEL ALGORITMO

En este capítulo se detalla el desarrollo del algoritmo para calcular la velocidad máxima de cada curva, para lo cual es necesario conocer el radio de curvatura de cada una, el peralte y el coeficiente de rozamiento lateral, como lo describe la Ecuación 2.12. Los conceptos de geometría vial serán de gran ayuda para lograr este objetivo.

#### 3.1. Toma de Datos

Para adquirir los datos geográficos se empleó el teléfono LG Stylus 3 con GPS Asistido (A-GPS), el cual mejora la precisión de la información del GPS mediante el uso de la red de telefonía móvil terrestre. La aplicación Cycle Track GPS recolecta datos de la ubicación actual cada 5 segundos, registra el recorrido y lo almacena en un archivo con formato XML, el cual es un formato habitual para almacenar información geográfica. En la Figura 3.1 se muestra la estructura de éste tipo de archivos para un punto en particular, del cual se extrajo la información de longitud, latitud y elevación.

Figura 3.1: Formato de un archivo XML que contiene información geográfica

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<ArrayOfDiagnosticPoint xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  <DiagnosticPoint>
    <Id>0</Id>
    <HeartRate xsi:nil="true" />
    <Route>0</Route>
    <Segment>1</Segment>
    <Latitude>-0.16353403218090534</Latitude>
    <Longitude>-78.46066533587873</Longitude>
    <Accuracy>12</Accuracy>
    <Elevation>2858.5</Elevation>
    <Speed xsi:nil="true" />
    <Timestamp>2018-10-16T13:59:37.677</Timestamp>
    <Heading xsi:nil="true" />
    <AtMinutes>0</AtMinutes>
    <TimeSinceMinutes>0</TimeSinceMinutes>
    <DistanceSinceMeters>0</DistanceSinceMeters>
    <SpeedSinceMetersPerSecond>0</SpeedSinceMetersPerSecond>
  </DiagnosticPoint>
</ArrayOfDiagnosticPoint>
```

Elaborado por: Alejandro Chamorro

Luego de recorrer la Avenida Simón Bolívar de Norte a Sur se obtuvo un archivo con la ruta que contenía la información de 1.715 puntos, distanciados 15 metros aproximadamente.

Los datos sobre longitud, latitud y elevación de los puntos del recorrido se almacenaron en un archivo de texto plano, necesario para calcular la ruta promedio y para crear archivos en formato KML que permiten visualizar la información geográfica en Google Earth. El trayecto recorrido se dibujó y presentó en Google Earth, como muestra la Figura 3.2.

Figura 3.2: Ruta graficada en Google Earth



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Se observa que el trazado de la ruta tiene picos, que indican cambios bruscos de dirección, y puntos que se salen del recorrido de la carretera, estas imprecisiones se producen debido a errores de triangulación y precisión propios del Sistema de Posicionamiento Global.

### 3.2. Cálculo de la Ruta Promedio

Para obtener la ruta que más se aproxime al recorrido de la vía fue necesario realizar viajes adicionales con el fin de recopilar más datos, los cuales servirán para encontrar la tendencia de la ruta. Por cada recorrido se creó un archivo de texto plano.



La Ecuación 3.1 corresponde al teorema del punto medio de un segmento aplicada a varios puntos.

$$\overline{P_{(x,y)}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \right) \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Se realizaron once viajes en total, por lo tanto, se generó once archivos de texto los cuales se almacenaron en once listas de Python. Usando la Ecuación 3.1 se encontró el punto medio con los puntos del primer recorrido y del segundo recorrido. Luego, se aplicó nuevamente la Ecuación 3.1 con los puntos de éste resultado y los elementos del recorrido número tres y así sucesivamente hasta completar todas las once listas. Finalmente, se obtuvo una sola lista que contiene elementos de latitud media, longitud media y altura media. Para poder visualizar el resultado se creó un archivo en formato KML y posteriormente se lo exportó a Google Earth; en la Figura 3.3 se observa el resultado de la ruta promedio.

Figura 3.3: Ruta obtenida aplicando la Ec. 3.1 a los puntos recopilados



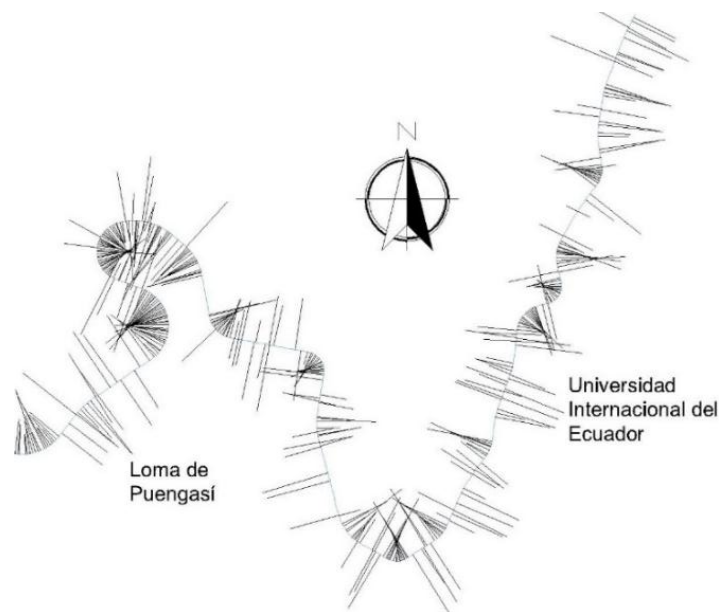
Elaborado por: Alejandro Chamorro

Se observa que la ruta ya no tiene cambios bruscos de dirección y sigue el recorrido real de la carretera, sin salirse de la vía.

### 3.3. Detección de las Curvas

Considerando que por tres puntos no colineales pasa una y solo una circunferencia, es posible calcular el radio vector de la circunferencia formada por tres puntos consecutivos de la ruta. Se encontró todos los radios con los puntos de la ruta promedio y se los graficó en AutoCAD para observar el resultado. En la Figura 3.4 se aprecia los radios vectores en el tramo entre la Universidad Internacional del Ecuador y la Loma de Puengasí

Figura 3.4: Radios en un tramo de la Avenida Simón Bolívar



Elaborado por: Alejandro Chamorro

A simple vista parecen segmentos de recta que no describen ningún comportamiento, por lo que es necesario prescindir de aquellos que no siguen un patrón específico.

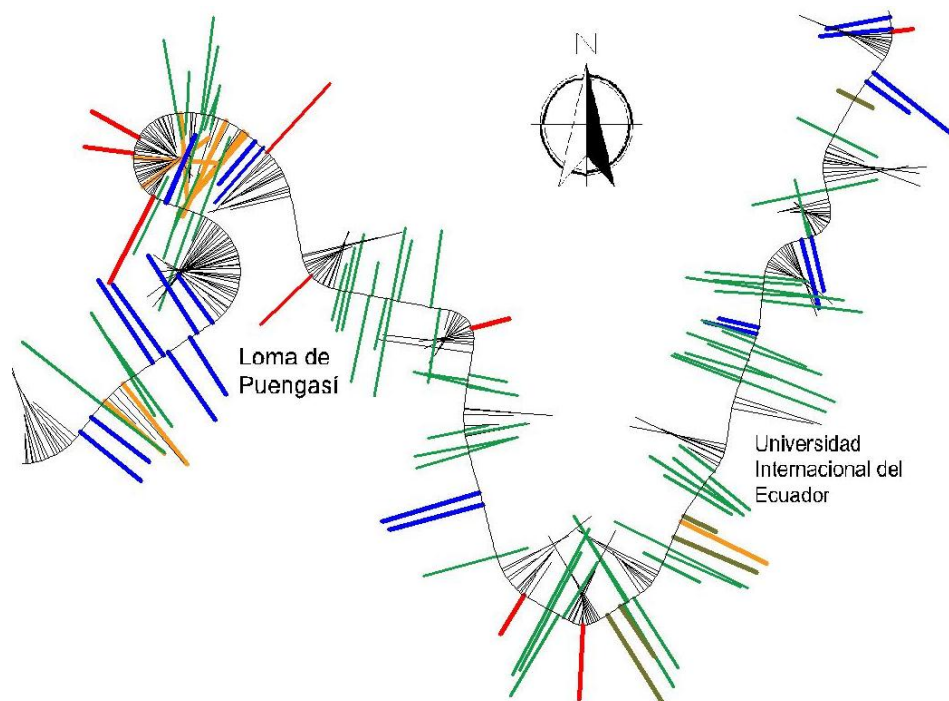
La velocidad máxima de circulación en la Av. Simón Bolívar es de 90 Km/h, aplicando la Ecuación 2.12 se tiene el radio máximo para ingresar en una curva a esta velocidad sin riesgo a perder la trayectoria.

$$R = \frac{90^2}{127(0.13 + 0.06)} = 335.68 \text{ metros} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Según la Tabla 2.5, para 90 Km/h el coeficiente de fricción lateral es de 0.13 y se consideró un peralte medio del 6%. Por lo tanto, los radios mayores a 335.68 metros serán descartados.

En ciertos tramos de carretera existen vectores con una diferencia cercana a  $180^\circ$  respecto al vector siguiente y al anterior. Esto se muestra en la Figura 3.5 en los segmentos de color rojo, los cuales no son elementos de la curva, por esta razón no se los toma en cuenta.

Figura 3.5: Segmentos que deben ser descartados por no pertenecer a ninguna curva



Elaborado por: Alejandro Chamorro

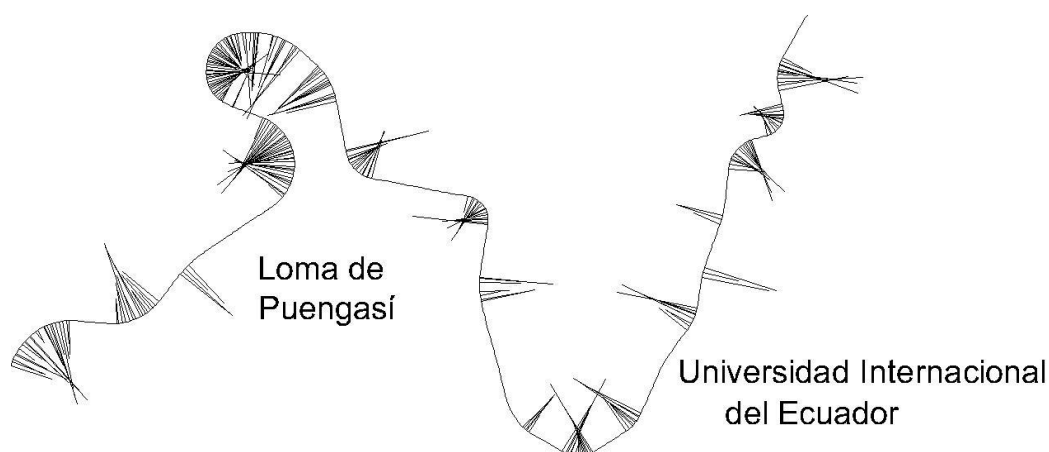
Además, no se tomaron en cuenta los elementos que cumplen las siguientes características:

- Radios consecutivos paralelos, ya que el radio de curvatura entre sus puntos es infinito. En la Figura 3.5 se observa estos radios de color azul.
- Radios consecutivos que intercalan cambios de dirección en la ruta. En la Figura 3.5 se observa estos radios de color verde.

- Radios cuya magnitud es mayor al doble del radio siguiente o al anterior. En la Figura 3.5 se observa estos radios de color naranja.
- Radios cuya relación entre radio, longitud y ángulo no cumplen con la Ecuación 2.4 para la curva circular. La Figura 3.5 se observa estos radios de color marrón.

Luego de haber descartado los segmentos descritos anteriormente, el resultado se muestra en la Figura 3.6.

Figura 3.6: Estructura de los vectores luego de haber eliminado aquellos que no describen ningún patrón



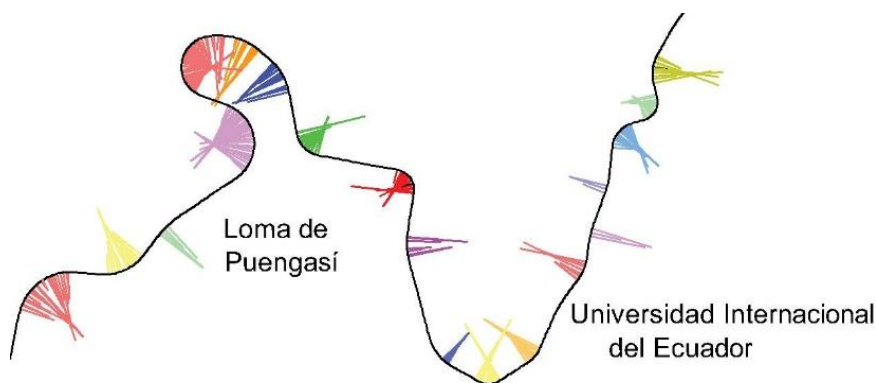
Elaborado por: Alejandro Chamorro

Hasta ahora se ha determinado los radios válidos que corresponden a las curvas, pero es necesario diferenciar una curva de otra. Si se selecciona cualquier curva de la Figura 3.6, a simple vista se nota que la diferencia de un vector con el siguiente es de unos pocos grados. Si se recorren los vectores y se calcula la diferencia de grados entre un vector y el anterior, se puede saber dónde termina una curva e inicia la siguiente siempre que ésta diferencia indique un cambio de sentido, es decir, la diferencia sea cercana a los  $180^\circ$  o cuando la distancia desde un vector hasta el siguiente sea mayor a la relación de la cotloide descrita en la Ecuación 2.5, en el caso de una curva de transición. Para el caso de una curva circular, la distancia entre vectores satisfará la Ecuación 2.4. Estas distancias entre vectores nos indican que la

separación entre dos curvas consecutivas es la suficiente como para considerarlas curvas independientes, ya que entre ellas se encuentra una recta tangente.

Los radios vectores de cada curva se guardaron en una lista de Python, identificados con un color diferente; luego se generó un archivo de texto para graficarlos en AutoCAD. En la Figura 3.7 se observa la ruta con los radios de cada curva identificados con un color diferente.

Figura 3.7: Resultado final de los vectores



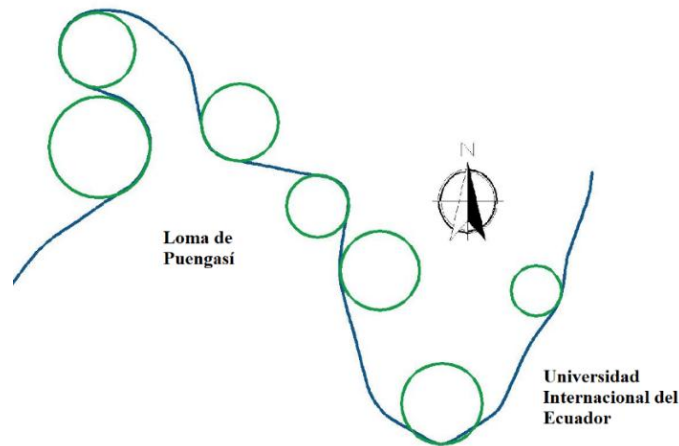
Elaborado por: Alejandro Chamorro

### 3.4. Obtención del Radio de la Curva

El radio de la curva de transición decrece gradualmente desde el infinito, en la recta tangente, hasta el valor del radio de la curva circular, por lo tanto, el radio de curvatura y su respectivo peralte corresponden al de la curva circular, exista o no curva de transición. Entonces, se asumirá que los vectores más cercanos al centro de la curva, aquellos cuya diferencia de magnitud sea mínima, corresponden a la curva circular y que contienen el peralte de la misma. Se tiene que promediar la magnitud de éstos vectores para encontrar el radio de curvatura.

En la Figura 3.8 se observa que el radio de curvatura calculado se aproxima bastante al trazado de la carretera.

Figura 3.8. Radio de curvatura

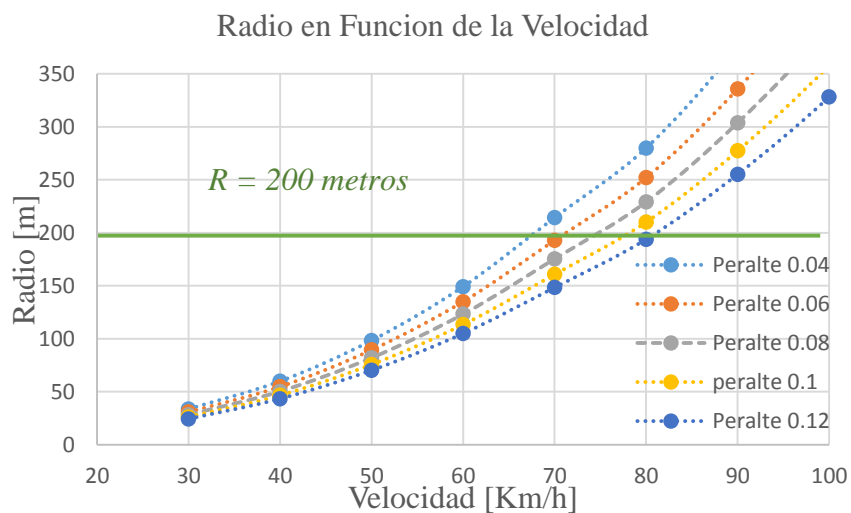


Elaborado por: Alejandro Chamorro

### 3.5. Cálculo de la Velocidad Máxima de Ingreso a la Curva

En el capítulo anterior se mencionó que los valores de peralte y velocidad de diseño toman valores discretos estandarizados. Para encontrar la velocidad de la curva utilizaremos la Figura 2.5 de radio de curvatura en función de la velocidad de diseño para diferentes tasas de peralte. Para nuestro caso el radio máximo es 335.68 metros, según la Ecuación 3.2, si la velocidad máxima es 90 Km/h el alcance de la Figura 2.5 se reduce al mostrado en la Figura 3.9.

Figura 3.9: Radio en función de la velocidad de la curva para las condiciones de la Avenida Simón Bolívar



Elaborado por: Alejandro Chamorro

La línea horizontal de color verde de la Figura 3.8 corresponde al radio de curvatura, si se desea encontrar los valores de peralte y velocidad de ingreso basta con hallar el punto más cercano a la recta horizontal.

Si se considera que una curva tiene un radio  $R=200$  metros, el punto más cercano es aquel en el que el valor de  $V=80$  Km/h y peralte  $e=12\%$  que corresponde al punto azul debajo de la línea horizontal.

Cada curva se almacenó en una lista de Python, los elementos de la lista corresponden al punto de inicio de la curva, el punto final de la curva, el punto medio de la curva, su radio de curvatura, la elevación de la curva y la velocidad máxima de ingreso. Posteriormente se guardó esta información en un archivo de texto plano, las listas separada por punto y coma. Este archivo es el resultado final que devuelve el algoritmo y será la base para el desarrollo del circuito del pedal de aceleración y su respectivo control.

## CAPÍTULO 4

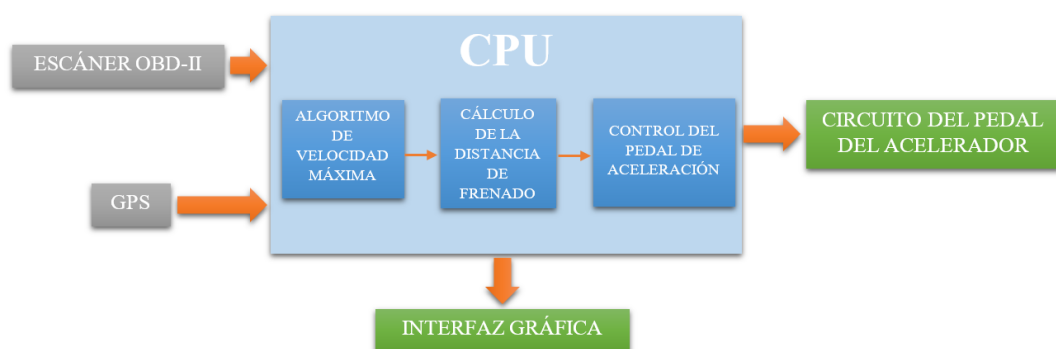
### DESARROLLO DEL CIRCUITO

#### 4.1. Visión General

El objetivo general del presente proyecto es controlar la velocidad del vehículo antes de ingresar a la curva próxima, para lo cual ya se ha definido las velocidades de ingreso a cada una de ellas. Posteriormente, se debe evitar que el automóvil sobrepase la velocidad preestablecida en cada curva. De los sistemas descritos anteriormente se observa que el limitador de velocidad cumple con ésta función, inhibir la acción del pedal del acelerador con el objetivo que el vehículo no sobrepase la velocidad preestablecida.

El circuito diseñado recibe información de la velocidad del vehículo que envía el escáner OBD-II y la ubicación actual recibida del GPS, calcula la distancia requerida para disminuir la velocidad hasta la correspondiente a cada curva, si el conductor intenta acelerar a una velocidad peligrosa, el circuito tomará el mando del pedal del acelerador para que recorra el tramo de la vía de forma segura y confortable. En la Figura 4.1 se observa el diagrama de bloques que describe el sistema desarrollado.

Figura 4.1: Diagrama de bloques del circuito del pedal de aceleración



Elaborado por: Alejandro Chamorro

#### 4.2. Características Generales del Vehículo

Se dispone de un vehículo Toyota Yaris del año 2009 para la implementación del circuito. Es necesario definir las características generales del vehículo a fin de



encontrar las posibles limitaciones del circuito a diseñar. En la Tabla 4.1 se resume las características del vehículo de prueba.

Tabla 4.1: Características Generales del vehículo Toyota Yaris 2009

Velocidad Máxima	170 [Km/h]
Aceleración 0 – 100 Km/h	11.5 [segundos]
Peso	1010 [Kg]
Potencia Máxima del Motor	87 [CV] / 64 [Kw]
Revoluciones a Potencia Máxima	6000 [RPM]
Par Máximo	121 [Nm]
Revoluciones a Par Máximo	4200 [RPM]
Número de Cilindros	4 en línea
Cilindrada	1296 [cm <sup>3</sup> ]
Relación de Compresión	11 a 1
Sistema de Aceleración	Electrónico

Elaborado por: Alejandro Chamorro

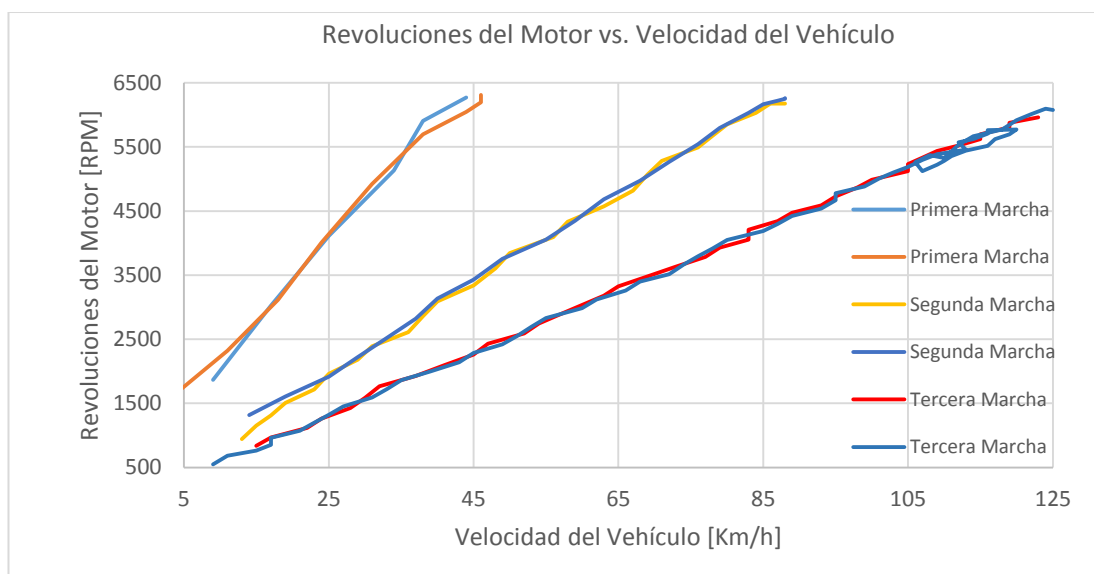
#### 4.1.2. Curva de Velocidades

La curva de velocidades indica la velocidad máxima del vehículo en cada desmultiplicación de la caja de cambios antes que el motor llegue al corte de inyección (revoluciones a potencia máxima), en el caso del Toyota Yaris 6.000 revoluciones por minuto.

Para obtener la curva fue necesario acelerar el auto hasta llegar a una velocidad tal que se alcance las revoluciones de potencia máxima. Usando el escáner OBD-II se recolectaron datos de velocidad del vehículo y revoluciones del motor. Este proceso se lo repitió tres veces para la primera marcha, tres veces para la segunda marcha y tres veces para la tercera marcha. Posteriormente, se graficaron los datos para hallar la dependencia de las revoluciones del motor en relación a la velocidad del vehículo. Finalmente, se encontró la línea de tendencia de la curva RPM en función de la velocidad.

En la Figura 4.2 se muestra el gráfico de las revoluciones por minuto del motor en función de la velocidad con los datos obtenidos usando el escáner OBD-II. Para recolectar la información se transitó el mismo tramo de la vía todas las veces con el fin de disminuir el error de una medida respecto de la anterior.

Figura 4.2: Gráfico de Revoluciones del motor en función de la velocidad del vehículo



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Las ecuaciones de las líneas de tendencia para cada marcha se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Ecuaciones de RPM en función de la velocidad del vehículo para diferentes marchas

MARCHA	ECUACIÓN
SEGUNDA	$\text{rpm} = 68.94v + 266.53$
TERCERA	$\text{rpm} = 47.55v + 158.11$

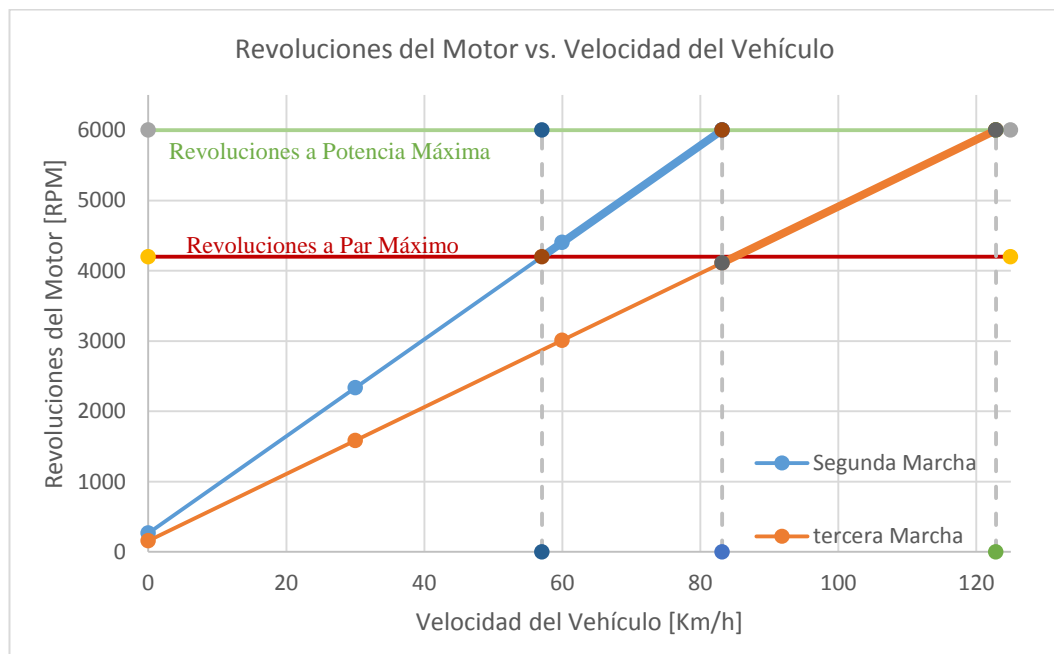
Elaborado por: Alejandro Chamorro

La pendiente de la curva indica la variación de las revoluciones del motor respecto a la velocidad de circulación, por ejemplo, en el caso de la tercera marcha se tiene una

variación de  $47.55[(\text{RPM})/(\text{Km/h})]$  o lo que es lo mismo, el vehículo desarrolla 22.22 Km/h por cada 1000 RPM. En el caso de la segunda marcha el vehículo desarrolla 14.51 Km/h por cada 1000 RPM.

La velocidad máxima antes que el vehículo entre en el corte de inyección corresponde a la intersección de la línea de tendencia con la línea de revoluciones a potencia máxima. En la Figura 4.3 se observa el gráfico de las líneas de tendencia para segunda y tercera marchas.

Figura 4.3: Gráfica de las líneas de tendencia de las revoluciones del motor en función de la velocidad del vehículo



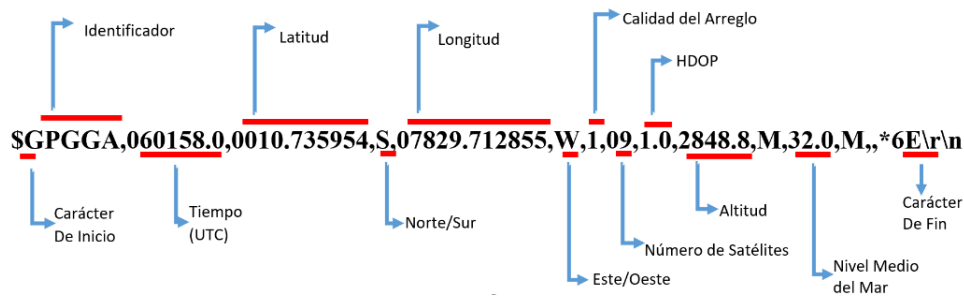
Elaborado por: Alejandro Chamorro

Se observa que para la segunda marcha la velocidad máxima antes que las revoluciones lleguen al corte de inyección es cercana a los 80 Km/h y para la tercera marcha la velocidad máxima es cercana a los 120 Km/h. Tomando en cuenta que la velocidad de circulación máxima permitida a través de la Avenida Simón Bolívar es de 90 Km/h, por lo tanto, el recorrido a través de esta ruta se lo puede realizar en tercera marcha sin riesgos que el motor del vehículo se acerque si quiera al corte de inyección.

### 4.3. Lectura de Coordenadas del GPS

Para adquirir los datos geográficos se empleó el GPS Asistido (A-GPS) del teléfono LG Stylus 3, el cual mejora la precisión de la información del GPS mediante el uso de la red de telefonía móvil terrestre. En el teléfono se instaló la aplicación GPS2Bluetooth para enviar la información geográfica en formato NMEA (National Marine Electronics Association), por medio de Bluetooth, hacia cualquier dispositivo vinculado. En la Figura 4.4 se muestra el formato para el identificador GPGLA (Global Positioning System Fix Data), en el cual se encuentra información referente a latitud, longitud y elevación, necesarios para calcular la distancia de frenado.

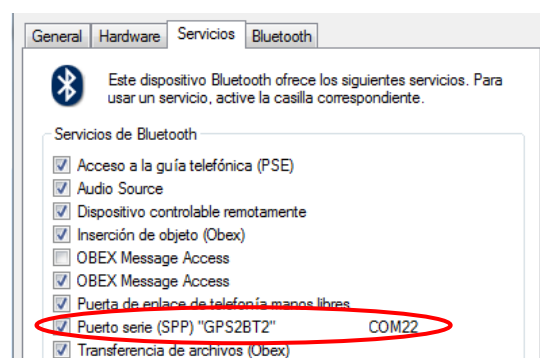
Figura 4.4: Formato para el identificador GPGLA del estándar NMEA.



Elaborado por: Alejandro Chamorro

En el equipo receptor es obligatorio habilitar el Perfil de Puerto Serie “GPS2BT2”, con el fin de definir los requisitos necesarios en los dispositivos Bluetooth para establecer la conexión, entre los cuales se asigna un puerto COM virtual. En la Figura 4.5 se observa que al habilitar el servicio SPP se asigna el puerto COM22.

Figura 4.5: Ventana para habilitar el servicio GP2BT2



Elaborado por: Alejandro Chamorro

La librería pynmea2 de Python permite la adquisición de la información del puerto serial virtual (COM22), luego analiza las sentencias de forma individual y devuelve un objeto de tipo NMEA del cual se extraerá los datos de latitud, longitud y elevación para almacenarlos en una lista. La lectura de los datos se realiza cada segundo.

#### 4.4. Lectura del Escáner OBD-II

El escáner OBD-II de la Figura 4.6 está basado en el circuito integrado ELM327, el cual está diseñado para actuar como puente entre los puertos del sistema de diagnóstico a bordo (OBD), que provee la ECU del vehículo, y una interfaz serial USB del computador.

Figura 4.6: Escáner OBD-II basado en el circuito integrado ELM327



Fuente: (Alibaba, 2019)

La comunicación del escáner opera en forma de solicitud-respuesta, se debe enviar una petición del dato que se desea recuperar del escáner, por ejemplo, velocidad del vehículo y el escáner entrega la información requerida.

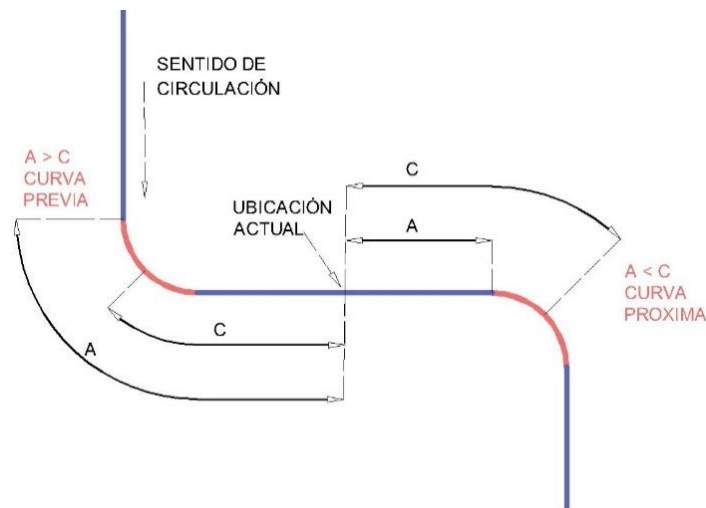
La librería obd de Python se desarrolló para trabajar con adaptadores OBD-II estándar que contengan el circuito integrado ELM327. Esta librería facilita la rápida lectura de los datos de los sensores, el estado de los actuadores y además realiza diagnósticos como la lectura de códigos de error. La librería recibe la información del puerto serial virtual al que está conectado el escáner, luego de enviar la petición, la librería devuelve un objeto con el valor correspondiente para almacenarlo en una variable. La lectura de los datos del escáner se la realiza cada segundo.

#### 4.5. Cálculo de la Distancia de Frenado

Para este proceso se necesita los datos del algoritmo de la velocidad máxima de ingreso a la curva.

Primero se debe encontrar la curva cercana próxima a la ubicación actual. En la Figura 4.7 se muestra un diagrama en el que se indica la curva próxima y la curva precedente respecto a una ubicación cualquiera de la ruta.

Figura 4.7: Diagrama de la curva precedente y la curva próxima a un punto de referencia cualquiera



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Donde  $A$  es la distancia desde la ubicación actual hasta el punto de inicio de la curva y  $C$  es la distancia desde esa ubicación hasta el centro de la misma curva. Si se calcula  $A$  para todas las curvas, entonces, la curva más cercana será aquella con el menor valor de  $A$ . La curva próxima será aquella en la que  $A < C$ . Para optimizar el cálculo de la curva más cercana, únicamente se hizo válidos las distancias en las que  $A < 1000$  metros, debido a que la distancia entre dos curvas consecutivas no supera los 1000 metros.

La Ecuación 4.1 sirve para encontrar la pendiente desde la ubicación actual hasta la curva próxima.

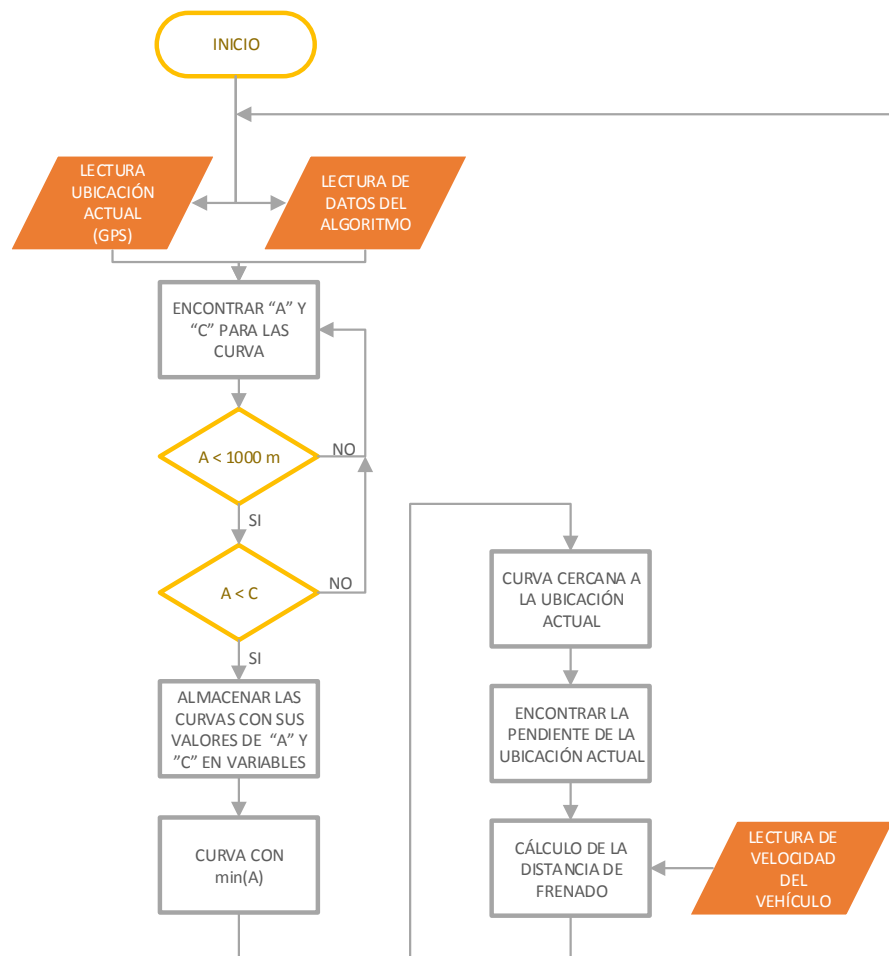
$$p = 0.01 \times \tan^{-1} \left( \frac{h_{ub} - h_{cur}}{A} \right) \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Donde  $p$  es la pendiente,  $h_{ub}$  corresponde a la altura de la ubicación actual,  $h_{cur}$  corresponde a la altura de la curva y el factor 0.01 sirve para expresar la pendiente en porcentaje.

Se usa la ecuación Ec. 2.3 con el fin de calcular la distancia requerida para llegar desde la velocidad actual del vehículo hasta la velocidad de ingreso a la curva. La velocidad inicial corresponde a la velocidad actual del vehículo, cuyo dato se recibe del escáner, la velocidad final es la velocidad de ingreso a la curva próxima.

En la Figura 4.8 presenta el diagrama de flujo en el que se describe el proceso de cálculo de la distancia de frenado

Figura 4.8: Diagrama de flujo que describe el cálculo de la distancia de frenado



Al final de esta etapa se devuelve el valor de la distancia de frenado en metros y la curva próxima, estos datos son útiles desarrollar la interfaz gráfica

#### 4.6. Control del Pedal de Aceleración

Las condiciones para que se inhiba la acción del pedal de aceleración están directamente relacionadas con la distancia de frenado y la velocidad actual del automóvil. Si la velocidad del vehículo es menor a la velocidad de la curva próxima se la recorrerá sin peligro de despiste del automotor. Caso contrario se calcula la distancia de frenado. En la Figura 4.9 se presenta una curva de la ruta indicando la distancia de frenado para la ubicación actual del vehículo.

Figura 4.9: Diagrama indicando la distancia de frenado antes de alcanzar la curva



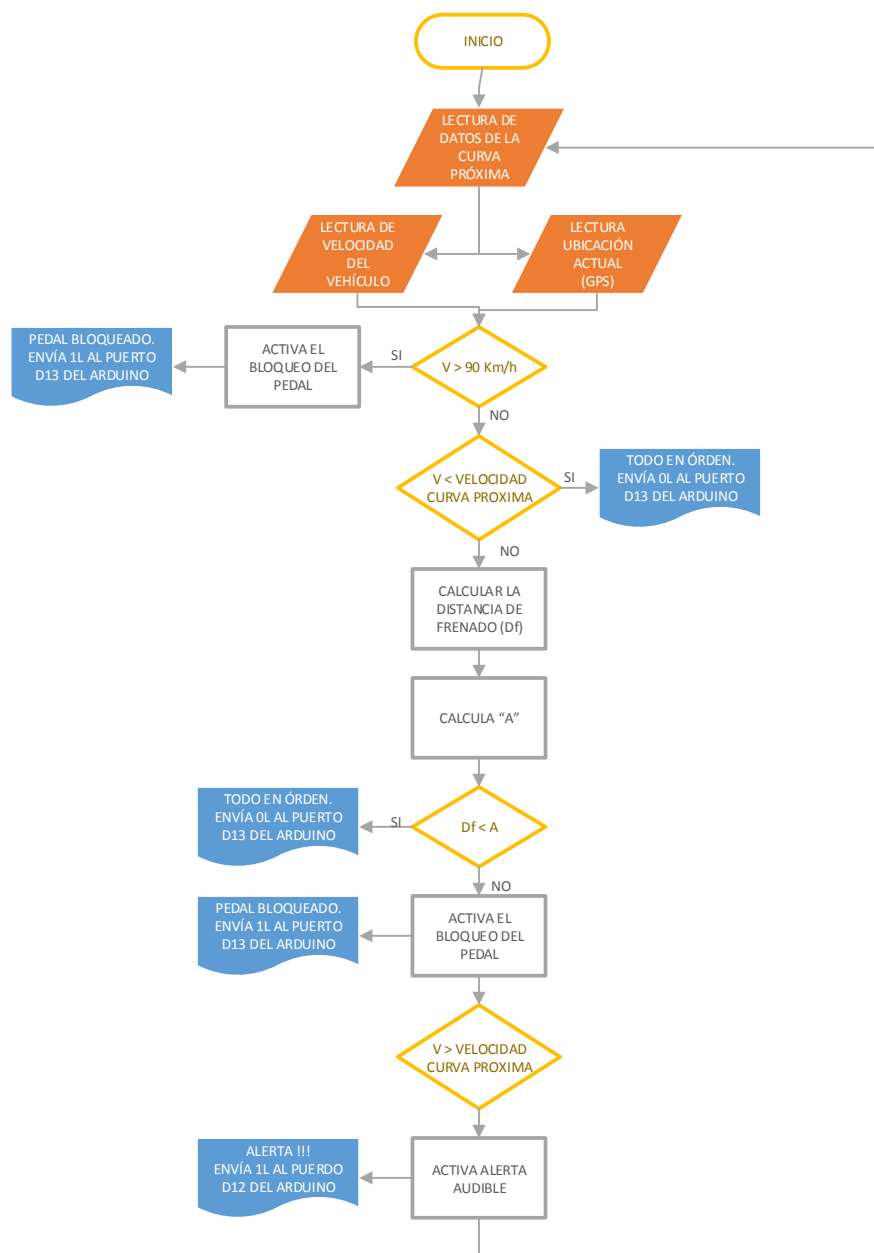
Elaborado por: Alejandro Chamorro

El piloto tiene el control del vehículo desde la ubicación actual hasta el inicio de la distancia de frenado, desde éste punto en adelante entra en acción el circuito del pedal del acelerador, se enviará un uno lógico de forma serial al circuito para que inhabilite el funcionamiento del pedal. Cuando el vehículo sobrepasa el punto medio de la curva, el circuito se anula, se envía un cero lógico de forma serial al circuito, y el conductor tendrá nuevamente el control del pedal. En un momento determinado, la distancia de frenado no es suficiente para alcanzar la velocidad de ingreso a la curva, el sistema por si solo es incapaz de llegar a ésta velocidad. Por tal motivo, cuando la



distancia A (distancia desde la ubicación actual hasta el punto de inicio de la curva) sea menor a la distancia de frenado, se enciende una señal audible que advierte al conductor y tome medidas con el fin de reducir la velocidad y recorrer la curva de forma segura. En rectas prolongadas es posible que se sobrepase los 90 Km/h, el circuito debe evitar que se exceda éste límite de velocidad y hacer el recorrido en velocidad crucero. La Figura 4.10 muestra el diagrama de flujo que describe el proceso de control del pedal de aceleración.

Figura 4.10: Diagrama de flujo que describe el control del circuito del pedal



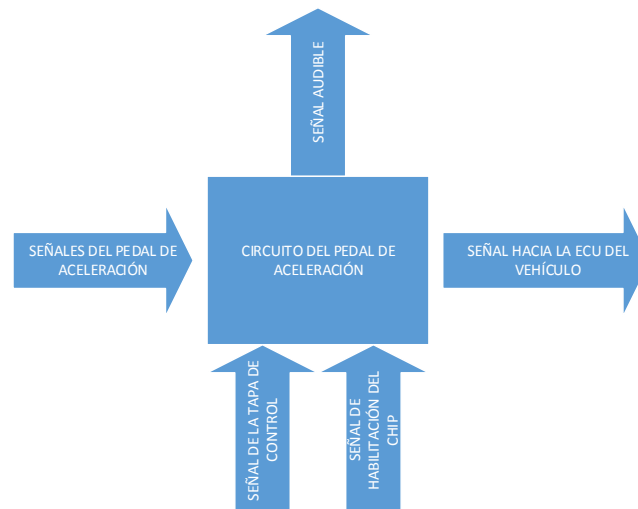
#### **4.7. Circuito del Pedal de Aceleración**

El circuito está formado por un multiplexor analógico CD4052BE que recibe dos señales a la entrada, una señal corresponde a la señal del sensor de posición del pedal de aceleración que varía entre 1.6 voltios y 5 voltios, y la otra corresponde a 1.6 voltios, que se obtienen de un divisor de tensión, este valor indica que el pedal de aceleración está en su posición de reposo o posición mínima. Para el caso de la señal de redundancia, la salida del divisor de tensión debe ser de 0.8 voltios.

La placa Arduino Nano recibe el dato de forma serial de la etapa de control y lo envía al pin de selección de canal del multiplexor analógico. Si recibe un cero lógico, se obtendrá a la salida del multiplexor la señal del potenciómetro del pedal, esta señal irá a la ECU del vehículo. Si se recibe un uno lógico, se obtendrá la señal del divisor de tensión (1.6 voltios) a la salida del multiplexor, inhibiendo la acción del pedal. La ECU recibe la señal indicando que el pedal está en su mínima posición, por lo tanto, se cierra la placa de la aleta de mariposa en el cuerpo de aceleración, evitando que ingrese la masa de aire y el combustible necesario de los inyectores al múltiple de admisión. El motor no genera potencia hacia las ruedas, haciendo que el vehículo se mueva por inercia provocando su deceleración hasta llegar a la velocidad de ingreso a la curva próxima. Adicionalmente, la placa Arduino recibe de la etapa de control la señal para activar la señal audible en caso que sea necesario. El multiplexor cuenta con un pin de habilitación del chip que debe estar conectado a un cero lógico para habilitarlo, se ha conectado un interruptor para deshabilitarlo en caso que sea necesario.

En la Figura 4.11 se muestra el diagrama de bloques de las señales entrantes y salientes al circuito del pedal de aceleración.

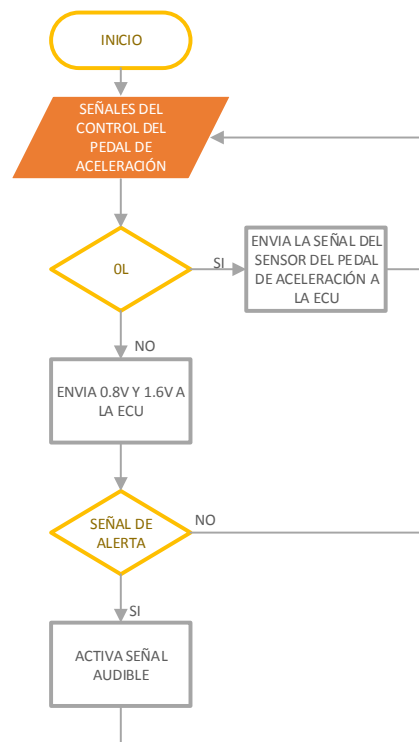
Figura 4.11: Diagrama de bloques de las señales entrantes y salientes al circuito del pedal de aceleración



Elaborado por: Alejandro Chamorro

En la Figura 4.12 se observa el diagrama de flujo que describe el funcionamiento del circuito del pedal de aceleración.

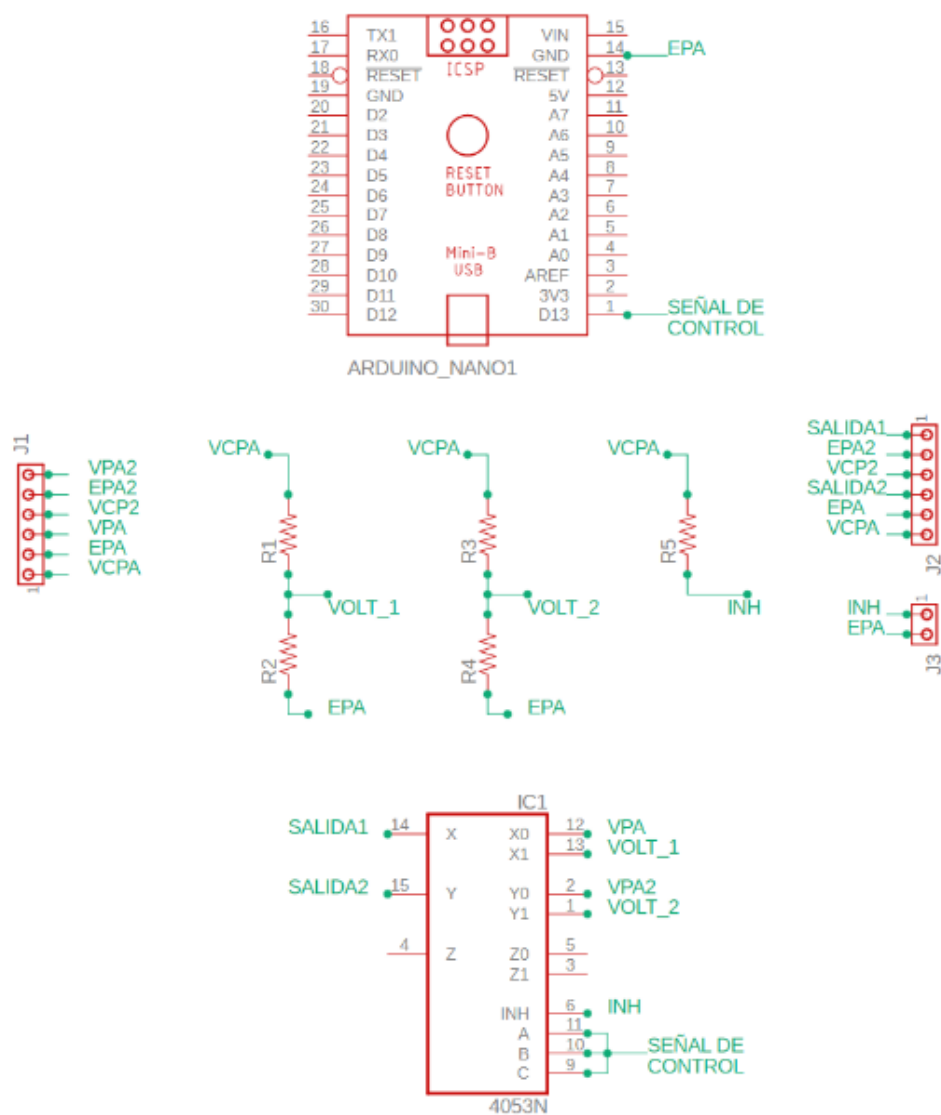
Figura 4.12: Diagrama de flujo que describe el funcionamiento del circuito del pedal de aceleración



Elaborado por: Alejandro Chamorro

En la Figura 4.13 se presenta el diagrama esquemático del diseño del circuito del pedal el cual se lo desarrolló en el software Autodesk Eagle.

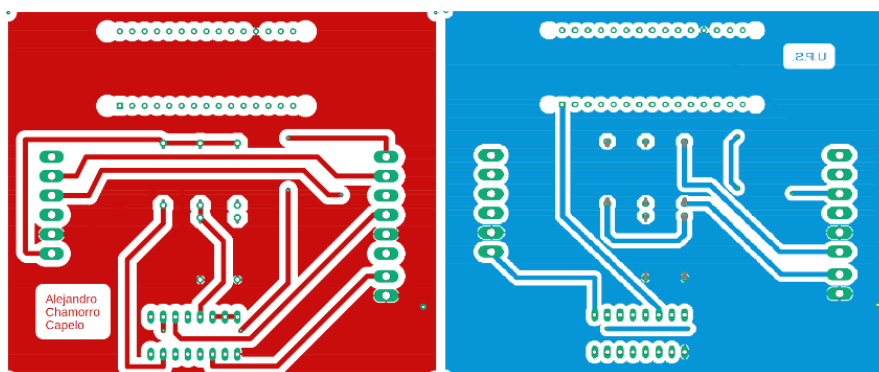
Figura 4.13: Diagrama esquemático del circuito



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Con el circuito esquemático se procedió a rutear y modelar la placa del circuito impreso para su posterior instalación en el vehículo. En la Figura 4.14 se observa la vista superior y la vista inferior del PCB

Figura 4.14: Ruteado de las pistas, vista superior (color rojo) y vista inferior (color azul) de la placa principal



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Para el montaje del circuito en el pedal de aceleración es necesario identificar los cables que salen del sensor del pedal y la función que cumple cada uno. En la Tabla 4.3 se describen los cables con su respectivo código de colores y la función que cumple cada uno.

Tabla 4.3: Descripción de la función de los cables del sensor del pedal de aceleración

COLOR DEL CABLE	FUNCIÓN	NOMENCLATURA
ROJO	+ 5V DC sensor 1	VCPA
VERDE	GND sensor 1	EPA
NEGRO	Señal sensor 1	VPA
AZUL	+ 5V DC sensor 2	VCPA2
NARANJA	GND sensor 2	EPA2
BLANCO	Señal sensor 2	VPA2

Elaborado por: Alejandro Chamorro

Posteriormente, se debe cortar los cables y soldarlos a un conector tipo L06p amp mt hembra y macho. Este conector es de gran utilidad ya que facilita el montaje y desmontaje fácil y rápido del circuito del acelerador. En la Figura 4.15 se observa los cables ya separados y los conectores soldados.

Figura 4.15: Cables del sensor del pedal con los respectivos conectores hembra y macho



Elaborado por: Alejandro Chamorro

#### **4.8. Interfaz Gráfica**

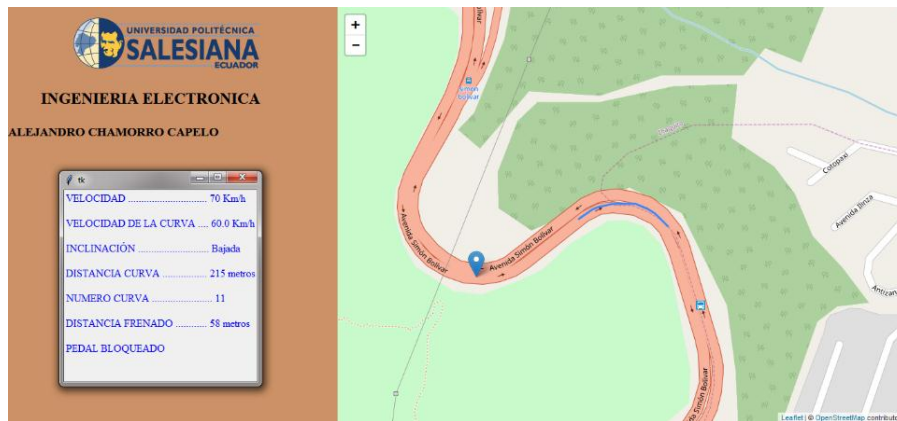
Se desarrolló una aplicación web para visualizar en tiempo real los datos adquiridos de las diferentes etapas del circuito.

La biblioteca Leaflet es una utilidad de JavaScript de código abierto para mapas interactivos que permite manipular información geográfica y desplegarla en cualquier navegador web. Por defecto, la biblioteca lee un archivo con formato GeoJSON de una fuente proporcionada por una URL o un servidor web, por lo tanto, fue necesario crear un servicio WEB JSON del cual se extraerá la información de la ubicación y la curva.

El archivo JSON se actualiza cada 0.5 segundos con los datos proporcionados por la etapa de cálculo de la distancia de frenado.

La Figura 4.16 muestra la interfaz gráfica con el mapa de la biblioteca Leaflet en el cual se ha dibujado una marca que indica la ubicación actual del vehículo y la curva cercana a esta posición.

Figura 4.16: Interfaz gráfica para visualizar los datos y la ubicación en tiempo real



Elaborado por: Alejandro Chamorro

Adicionalmente, se añadió una ventana que registra los datos más relevantes del sistema, como son:

- La velocidad del vehículo que se lee del escáner OBD-II.
- La velocidad de la curva, cuyo valor es proporcionado por el algoritmo.
- La pendiente desde la ubicación hasta la curva.
- La distancia hasta la curva.
- El número de la curva próxima.
- La distancia de frenado.
- El estado actual del circuito del pedal del acelerador.

## CAPITULO 5

### PRUEBAS Y RESULTADOS

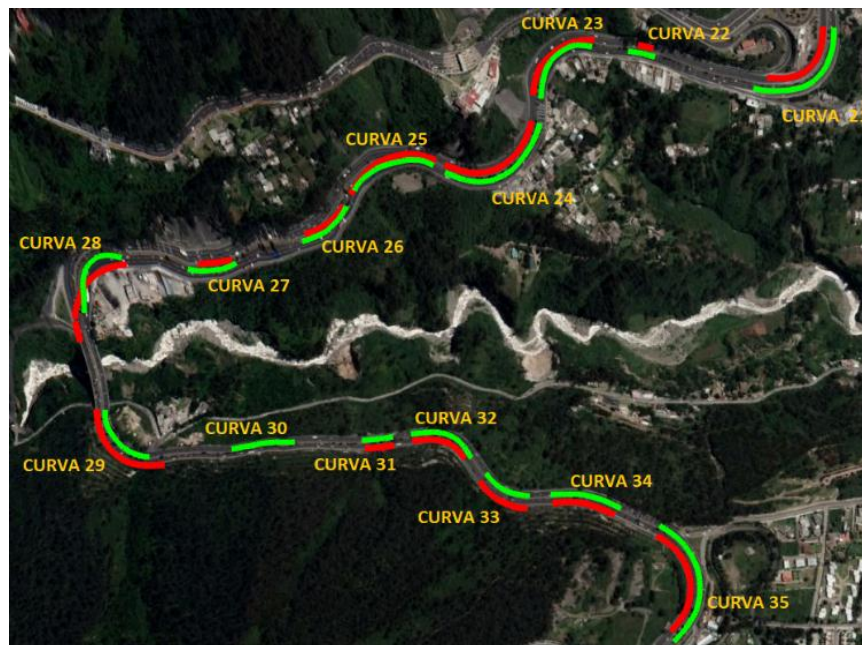
El algoritmo de cálculo de la velocidad de ingreso a la curva devuelve un archivo de texto en el que se almacenó información sobre radio de curvatura y velocidad. A continuación, se procederá a comparar los valores obtenidos por el algoritmo con los valores facilitados por la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP).

#### 5.1. Revisión de la Identificación de Curvas

Con base a la Tabla 2.8, de radios y peraltes aproximados para las curvas de la Av. Simón Bolívar, se analizó si el algoritmo identificó las curvas en los diferentes tramos de la carretera.

La Figura 5.1 corresponde al tramo en el sector de la Avenida de los Conquistadores, se ha marcado de color rojo la curva reconocida por el algoritmo y de color verde la curva obtenida con los datos de la EPMOP.

Figura 5.1: Curvas de acuerdo a los datos de la EPMOP y las obtenidas con el algoritmo para el sector de la Avenida de los Conquistadores

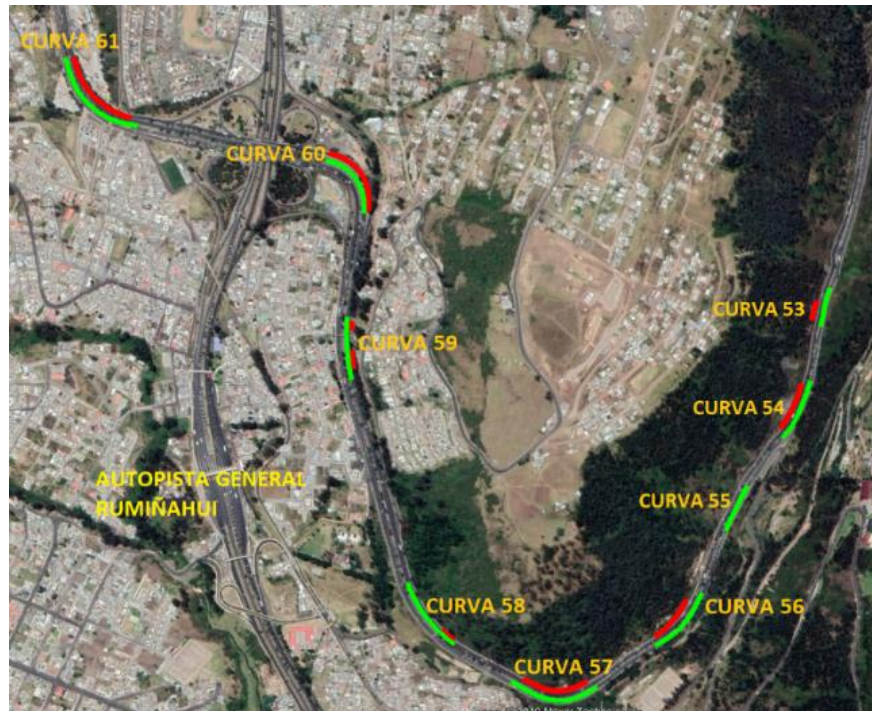


Elaborado por: Alejandro Chamorro.



La Figura 5.2 corresponde al tramo en el sector de la Autopista General Rumiñahui. Igualmente, ha marcado de color rojo la curva reconocida por el algoritmo y de color verde la curva obtenida con los datos de la EPMMOP.

Figura 5.2: Curvas de acuerdo a los datos de la EPMMOP y las obtenidas con el algoritmo para el sector de la Autopista General Rumiñahui



Elaborado por: Alejandro Chamorro

En el sector de la Avenida de los Conquistadores existen 15 curvas, de las cuales el algoritmo identificó 14. La curva número 30, a pesar de estar identificada en la Figura 5.1 y tener un radio de 300 metros, el algoritmo no la tomó en cuenta debido a que los vectores en este sector cambian de sentido uno a continuación de otro y no forman un patrón definido de curva. El algoritmo identificó la curva número 28 como una curva compuesta, es decir, es la disposición de dos curvas simples de radios diferentes orientadas en la misma dirección. La separación entre ellas es de 4 metros y se la puede considerar como una sola curva. La Figura 5.3 muestra la particularidad de este tramo de la vía.

En la Tabla 5.1 se enlistan las curvas para cada tramo y se ha colocado una marca de acuerdo a si la curva fue identificada o no por el algoritmo.

Tabla 5.1: Curvas identificadas por el algoritmo

SECTOR	Nº CURVA	CURVA IDENTIFICADA	CURVA NO IDENTIFICADA
Avenida De Los Conquistadores	21	X	
	22	X	
	23	X	
	24	X	
	25	X	
	26	X	
	27	X	
	28	X	
	29	X	
	30		X
	31	X	
	32	X	
	33	X	
	34	X	
	35	X	
Autopista General Rumiñahui	53	X	
	54	X	
	55		X
	56	X	
	57	X	
	58	X	
	59	X	
	60	X	
Juan Bautista Aguirre	68	X	
	69	X	

Elaborado por: Alejandro Chamorro

Figura 5.3: Curvas compuestas.



Elaborado por: Alejandro Chamorro

En el sector de la Autopista General Rumiñahui existen 9 curvas, de las cuales el algoritmo identificó 8, la curva número 55 tiene un radio de 400 metros, por lo tanto, no se la toma en cuenta. En la Figura 5.2 se observa que la curva número 59 también se la identificó como una curva compuesta.

En resumen, en estos tres tramos existen 26 curvas, de las cuales la curva 55 no se tomó en cuenta debido a que su radio es de 400 metros y la curva 30 no se la identificó por errores en la toma de datos. La Tabla 5.2 se realiza una comparación de las curvas totales y las curvas detectadas por el algoritmo, además se ha calculado el error en la detección de curvas.

Tabla 5.2: Curvas totales y curvas del algoritmo

<b>Curvas Totales</b>	<b>Curvas Detectadas</b>	<b>Error [%]</b>
26	25	3.85

Elaborado por: Alejandro Chamorro

## 5.2. Comparación de las Características de las Curvas

A continuación, se compara los datos de radio, peralte y velocidad de la información la Tabla 2.8, de radios aproximados y peraltes aproximados para las curvas de la Av. Simón Bolívar, con los datos obtenidos por el algoritmo.

La Tabla 5.3 compara los radios y peraltes para las curvas comprendidas en el sector de la Avenida de los Conquistadores, el sector de la Autopista General Rumiñahui y el sector de la calle Juan Bautista Aguirre.

Tabla 5.3: Comparación de los radios y peraltes del algoritmo con los datos aproximados

Sector	Nº Curva	Radio Aproximado [m]	Radio Del Algoritmo [m]	Error [%]	Peralte Aproximado [%]	Peralte Del Algoritmo [%]	Error [%]
Avenida De Los Conquistadores	21	86	123.45	43.55	9	8	11.11
	22	700	219.66	68.62	4	4	00.00
	23	90	154.67	71.86	10	3	70.00
	24	112	132.81	18.58	9	6	33.33
	25	108	165.49	53.23	10	9	10.00
	26	160	153.26	4.21	6	3	50.00
	27	240	255.92	6.63	6	12	100.0
	28	95	122.27	28.71	8	8	00.00
	29	100	151.48	51.48	6	4	33.33
	30	300	X	X	3	X	X
	31	245	173.87	29.03	4	8	100.0
	32	90	103.54	15.04	7	12	71.43
	33	65	85.4	31.39	7	7	00.00
	34	150	156.12	4.08	10	11	10.00
	35	105	122.00	16.19	9	8	11.11
Autopista General Rumiñahui	53	300	257.07	14.31	3	12	300.0
	54	220	206.80	6.00	8	10	25.00
	55	400	X	X	9	X	X
	56	165	189.68	14.96	6	6	00.00
	57	102	168.76	65.45	6	9	50.00
	58	270	144.56	46.46	6	13	116.7
	59	500	224.74	55.02	3	8	116.7
	60	100	139.51	39.51	6	5	16.67
Juan Bautista Aguirre	61	155	161.23	4.02	8	10	25.00
	68	265	181.69	31.44	9	7	22.22
	69	265	188.49	28.87	6	6	00.00
Error promedio				31.19	Error promedio		44.78

Elaborado por: Alejandro Chamorro

Finalmente, en la Tabla 5.4 se compara las velocidades aproximadas de cada curva con los valores obtenidos con el algoritmo.

Tabla 5.4: Comparación de la velocidad obtenida a través del algoritmo con los datos aproximados.

Sector	Nº Curva	Velocidad Aproximada [Km/h]	Velocidad Del Algoritmo [Km/h]	Error [%]	Observación
Avenida De Los Conquistadores	21	50	60	20.00	Sobrepasa velocidad permitida
	22	100	70	30.00	
	23	50	60	20.00	Sobrepasa velocidad permitida
	24	60	60	00.00	
	25	60	70	16.67	Sobrepasa velocidad permitida
	26	70	60	14.29	
	27	80	90	12.50	Sobrepasa velocidad permitida
	28	50	60	20.00	Sobrepasa velocidad permitida
	29	50	60	20.00	Sobrepasa velocidad permitida
	30	90	X	X	
	31	80	70	12.50	
	32	50	60	20.00	Sobrepasa velocidad permitida
	33	50	50	00.00	
	34	70	70	00.00	
	35	60	60	00.00	
Autopista General Rumiñahui	53	90	90	00.00	
	54	80	80	00.00	
	55	100	X	X	
	56	70	70	00.00	
	57	70	70	00.00	
	58	90	70	22.22	
	59	100	80	20.00	
	60	50	60	20.00	Sobrepasa velocidad permitida
Juan Bautista Aguirre	61	70	70	00.00	
	68	90	70	22.22	
	69	90	70	22.22	
Error Promedio				12.19	

Elaborado por: Alejandro Chamorro

La curva número 22 y la curva número 59 tienen una velocidad aproximada de 100 Km/h, pero el algoritmo calculó velocidades menores que no sobrepasan el límite permitido para cada curva. La velocidad de ingreso es una velocidad segura a pesar

de error. A partir de la Tabla 5.4 se puede resumir que el 69.23% de las curvas analizadas no sobrepasan la velocidad permitida de ingreso.

### 5.3. Análisis del Circuito del Pedal de Aceleración

Debido al alto riesgo de accidentes inherente de la Avenida Simón Bolívar y para evitar cualquier infortunio, las pruebas de funcionamiento se las realizaron en un ambiente controlado, las cuales se describen más adelante, que ayudó a comprobar el correcto funcionamiento del circuito.

#### 5.3.1. Pruebas de Velocidad Crucero

Esta prueba se la efectuó a lo largo de la Ruta Viva en horas de la madrugada en las que el tráfico es mínimo. Con el circuito instalado en el pedal de aceleración se programó una velocidad máxima en el software, la cual el automóvil no deberá sobrepasarla. Posteriormente se aceleró el vehículo y con el pedal a fondo se alcanzó la velocidad programada. Como era de esperarse el circuito entró en acción justo cuando se alcanzó la velocidad máxima y el vehículo apenas sobrepasó este límite. En la Tabla 5.5 se muestra los resultados para diferentes velocidades preprogramadas.

Tabla 5.5: Comparación de la velocidad programada con la velocidad máxima alcanzada por el vehículo

Velocidad Programada [Km/h]	Velocidad Máxima Alcanzada [Km/h]	Error [%]
50	53	6
60	65	8.33
70	74	5.71
80	84	5
90	96	6.67

Elaborado por: Alejandro Chamorro

Como se puede observar, los resultados indican que el circuito limitador de velocidad del pedal de aceleración funciona adecuadamente, presentándose un error máximo del 8.33% y un error promedio del 6.34%.

## CONCLUSIONES

Se desarrolló un prototipo electrónico para el control de la velocidad en un automóvil Toyota Yaris del año 2009, en el cual se cumplió el objetivo de disminuir su velocidad gracias a la implantación de un circuito limitador capaz de inhibir la acción del pedal de aceleración; sin embargo, el prototipo es susceptible de mejorar y cumplir con los estándares mínimos de seguridad para su posible comercialización.

Con la ayuda del escáner automotriz OBD II fue posible obtener los datos en tiempo real del número de revoluciones del motor y la velocidad del vehículo con el fin de establecer el rango de velocidades en las cuales el motor brinda la mayor fuerza de impulsión hacia las ruedas, en una determinada marcha, sin peligro de ingresar en la zona de corte de inyección. Para el caso del Toyota Yaris la velocidad máxima en tercera marcha es de 120 Km/h, valor con el cual es más que suficiente para circular en una vía periférica cuyo límite de velocidad está en 90 Km/h. Debido al límite de velocidad de circulación en la vía, el vehículo deberá circular en la marcha arriba mencionada para realizar las pruebas de validación y a su vez simplifica el diseño del prototipo.

La manipulación de los inyectores para lograr el corte de combustible requiere un sistema de control capaz de manejar velocidades de conmutación elevadas lo que involucra un mayor grado de complejidad en la programación de la tarjeta de control. Adicionalmente, al tomar las lecturas de los parámetros de funcionamiento del motor con el escáner automotriz OD II, se constató que al dejar de acelerar y que el vehículo ruede únicamente por inercia, los pulsos de inyección se reducen al punto de apagar al inyector durante el tiempo que el vehículo se desplace. Por otro lado, en el control de la válvula de mariposa de aceleración es necesario tomar en cuenta no linealidades que dificultan el diseño de la circuitería. Por estas razones, se escogió controlar el pedal de aceleración por su simplicidad en el diseño del circuito, ya que usando únicamente un multiplexor analógico fue posible desarrollar un limitador de velocidad el cual se encarga de inhibir la acción del pedal dependiendo de las señales de control que llegue a su pin de selección de canal.

Los valores de radio de curvatura y peralte obtenidos con el algoritmo arrojaron errores promedio de 31.19% y 44.78% respectivamente si se los compara con los datos aproximados, no obstante, el 69.23% de las curvas analizadas no sobrepasan las velocidades permitidas para cada una de ellas, a pesar de no coincidir sus velocidades, lo que quiere decir que los vehículos recorrerán estos tramos de carretera a velocidades menores o iguales a las recomendadas pero sin riesgo a salirse de la trayectoria ni sufrir accidentes.

Por razones de seguridad y con el fin de precautelar la integridad del piloto y el vehículo, las pruebas de velocidad crucero para comprobar funcionamiento del circuito electrónico del pedal de aceleración se las realizó a lo largo de la Ruta Viva en horas de la madrugada en las que el tráfico es mínimo. Sin embargo, los resultados que se obtuvieron indicaron que para una velocidad preestablecida el vehículo apenas la superó luego de haberse activado el circuito, arrojando un error máximo del 8.33% y un error promedio del 6.34%, lo que indica que el circuito funcionó debidamente.



## **RECOMENDACIONES**

Para instalar el circuito en otro vehículo es necesario obtener la curva característica de su sensor de pedal de aceleración, caso contrario se deberá cambiar las resistencias de los divisores de tensión para los nuevos valores mínimo y máximo de las señales.

En el mercado existen escáneres OBD II con comunicación Bluetooth, en caso de querer implementar este tipo de dispositivos es necesario que se basen en el circuito integrado ELM327 y, posteriormente, leer el puerto serial virtual que Bluetooth asignó al escáner.

## REFERENCIAS

- AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. (AASHTO Green Book) (Séptima ed.). (AASHTO, Ed.) Washington, DC, Estados Unidos de América. Recuperado el 17 de marzo de 2019
- Alibaba. (2019). AliExpress. Obtenido de Elm327 USB OBD2 escáner: [https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1H2cxjMvD8KJy0Flq6ygBFXaN/Elm327-USB-OBD2-OBDII-esc-ner-ELM-327-USB-V1-5-herramienta-de-esc-ner-de.jpg\\_640x640.jpg](https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1H2cxjMvD8KJy0Flq6ygBFXaN/Elm327-USB-OBD2-OBDII-esc-ner-ELM-327-USB-V1-5-herramienta-de-esc-ner-de.jpg_640x640.jpg)
- Alonso Pérez, J. M. (s.f.). Técnicas del Automóvil. Madrid, España: Paraninfo. Recuperado el 20 de mayo de 2019
- Berardo, M., Baruzzi, A., & Dapás, Ó. (2014). Manual de Diseño Geométrico Vial (Vol. Tomo I). Córdoba, Argentina: Editorial Brujas. Recuperado el 26 de abril de 2019, de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2708/lib/bibliotecaupssp/reader.action?docID=3226699&ppg=2>
- Bergamasco, C. (2015). Diseño Geométrico Conexión Vial Ruta 68 Hasta Ruta 78. Santiago de Chile - Chile. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Córdoba: Carrera de Ingeniería Civil. Recuperado el 16 de marzo de 2018, de <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/2043/ITF%20PS%20-%20Bergamasco%20Carla.pdf?sequence=1>
- California Department of Transportation. CALTRANS. (2 de julio de 2018). Highway Design Manual. U. S. Customary Units (Sexta ed.). Sacramento. Recuperado el 11 de abril de 2019, de Highway Design Manual: <http://www.dot.ca.gov/design/manuals/hdm/chp0200.pdf>
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). Manual de Carreteras: Diseño Geométrico: DG - 2018. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Recuperado el abril de 2019, de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf)

- Dirección General de Carreteras. (2016). Instrucciones de Construcción. Trazado. Norma 3.1 - IC. Madrid, España: Ministerio de Fomento. Recuperado el 17 de marzo de 2019, de [https://www.fomento.gob.es/recursos\\_mfom/norma\\_31ic\\_trazado\\_orden\\_fom\\_273\\_2016.pdf](https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/norma_31ic_trazado_orden_fom_273_2016.pdf)
- Gómez, R. (2013). Diseño, Construcción e Implementación de un Sistema Electrónico Inteligente, para el Control de la Velocidad Máxima en Ciudad y Carretera de un Aveo 1.4 Activo. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Ingeniería Automotriz. Latacunga: Departamento de Energía y Mecánica. Recuperado el 5 de mayo de 2019
- Jiménez Shaw, J. (3 de marzo de 2017). Resolución Numérica Completa de la Ecuación de la Clotoide. Recuperado el 24 de abril de 2019, de MathCurve: <https://www.mathcurve.com/courbes2d.gb/cornu/clotoide.pdf>
- Kumar, A. (2016). Study of the Injector Drive Circuit for a High Pressure GDI Injector. Jaipur - India. Recuperado el 1 de mayo de 2019, de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7939562&tag=1>
- Man, Z. (2016). Robust Adaptive Posotion Control of Automotive Electronic Throttle Valve Using PID-type Sliding Mode Technique. Swinburne University of Technology, Melbourne. Obtenido de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7553884&tag=1>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen N° 2 - Libro A. Norma para Estudios y Diseos Viales (Vol. 2A). Quito, Pichincha, Ecuador: Subsecretaría de Infraestructura del Transporte. Recuperado el 15 de marzo de 2019
- Sánchez, M. (2017). Análisis Vial de los Tramos de Mayor Accidentabilidad de la Avenida Simón Bolívar de la Ciudad de Quito. Pontificia Univaersidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería - Escuela de Civil, Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13452>
- Sierra, F. J. (2016). Transición de Peralte - Hidroplaneo. Expo Vial 2016, XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires. Recuperado el abril de 2019, de <http://www.congresodevialidad.org.ar/TRA/TRA-037.pdf>

Tamayo Benavides, J. P. (2015). Análisis del Desempeño de los Frenos en Vehículos que Incorporen el Sistema Antibloqueo (ABS) en Caminos Irregulares. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito. Recuperado el 13 de abril de 2019

Webedia Brand Services. (21 de diciembre de 2015). Motorpasion. Recuperado el 17 de mayo de 2019, de Cómo funciona el control de velocidad crucero y cuándo usarlo para ganar en seguridad:  
<https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/como-funciona-el-control-de-velocidad-de-crucero-y-cuando-usarlo-para-ganar-en-seguridad>